



LES
APPLICATIONS MÉCANIQUES
DE
L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

DIJON. — IMPRIMERIE DARANTIERE
65, rue Chabot-Charny, 65

BIBLIOTHÈQUE ÉLECTROTECHNIQUE (N° 3)

LES APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

PAR

J. LAFFARGUE

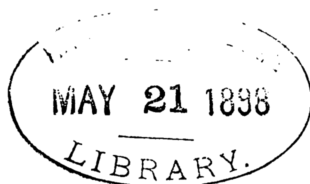
NGÉNIEUR ÉLECTRICIEN, LICENCIÉ ÈS SCIENCES PHYSIQUES
ANCIEN DIRECTEUR DE L'USINE MUNICIPALE D'ÉLECTRICITÉ
DES HALLES CENTRALES DE LA VILLE DE PARIS

Utilisation mécanique de l'énergie électrique sur les réseaux de distribution pendant la journée. Applications diverses. Renseignements pratiques sur l'installation et l'exploitation.

350 FIGURES DANS LE TEXTE

PARIS
LIBRAIRIE INDUSTRIELLE
J. FRITSCH, ÉDITEUR
30, RUE DU DRAGON

1895



Engineering appropriation.

95.10



PRÉFACE

Le 15 avril 1894, un nouveau journal, qui paraissait sous le titre de *Bulletin de la Compagnie française pour l'ex*[redacted]*ation des procédés Thomson-Houston*, écrivait la p[redacted]suivante :

La lenteur avec laquelle se développent en France les applications industrielles de l'électricité provient de ce que les intéressés connaissent peu, point ou d'une manière erronée les moyens et les avantages que procure l'électricité.

Cette phrase nous a semblé contenir une des appréciations les plus justes et les plus exactes. Nous avons eu l'occasion de le vérifier en de nombreuses circonstances, surtout en ce qui concerne les applications mécaniques de l'énergie électrique. Aussi, quand MM. E. Boistel et J. Fritsch, les sympathiques directeur et éditeur de la *Bibliothèque électrotechnique*, ont bien voulu faire appel à notre modeste concours, nous n'avons pas hésité à le leur donner entièrement. Une idée surtout nous a séduit : c'est l'uniformité des principes C.G.S., dont notre excellent maître M. E. Hospitalier est le défenseur le plus ardent et le plus infatigable, principes qui doivent former la base même de cette nouvelle bibliothèque.

Dans notre ouvrage, nous avons essayé d'observer strictement ces principes en exposant des idées générales sur quelques applications électromécaniques. Nous avons d'abord établi par des chiffres puisés à bonnes sources tous les avantages qui peuvent résulter de ces applications pour les stations centrales. Nous avons ensuite réuni quelques données sur les moteurs électriques et leur fonctionnement, en étudiant les moteurs à courants continus, à courants alternatifs simples et à courants polyphasés ; nous avons insisté également sur les conditions d'installation et d'exploitation. Dans un autre chapitre, nous avons passé en revue les principales applications réalisées jusqu'à ce jour, en nous efforçant constamment de faire connaître les résultats pratiques déjà obtenus. Enfin il nous a semblé utile d'indiquer quelques chiffres sur les dépenses pour appareils et installations électriques dans les applications diverses, et de donner quelques renseignements sur les distributions d'énergie électrique à Paris, pour favoriser le développement des applications électromécaniques.

A la fin de l'ouvrage, nous avons donné une table d'ensemble des matières et une table analytique détaillée, qui permettent au lecteur d'embrasser rapidement le contenu du recueil et les divers sujets successivement traités. Nous avons ajouté quelques renseignements bibliographiques sur les diverses sources que nous avons étudiées et consultées.

Notre ouvrage n'est qu'un résumé fort abrégé de l'histoire des applications électromécaniques ; peut-être paraîtra-t-il incomplet à nos lecteurs, ou peu explicite sur divers points. Nous les prions de nous accorder leur bienveillante indulgence ; notre étude sur cet important

sujet a été longue et laborieuse, et parfois difficile. Toutefois notre but sera atteint, si nous avons pu attirer sur les applications électromécaniques l'attention des directeurs d'usines ou d'ateliers, ou des abonnés aux réseaux de distribution d'énergie électrique.

Paris, février 1895.

J. LAFFARGUE.

INTRODUCTION

Les applications de l'énergie électrique sont aujourd'hui très nombreuses et très étendues, et chaque jour en amène encore de nouvelles. Il importe de connaître exactement les applications déjà réalisées, afin d'utiliser à l'occasion les solutions qui peuvent paraître avantageuses.

DIVISIONS DES APPLICATIONS DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Les applications de l'énergie électrique peuvent être divisées en **Applications mécaniques,**
Applications thermiques,
Applications chimiques.

Subdivisions des applications mécaniques

Nous examinerons tout particulièrement les applications mécaniques, qui depuis quelques années sont devenues très importantes et qui semblent prendre une extension de plus en plus considérable. Parmi les applications mécaniques, nous distinguerons

La *traction électrique,*
La *transmission de force motrice à distance,*
Les *applications diverses des moteurs électriques ou leur utilisation à différents usages.*

La traction électrique, qui est encore presque inconnue en Europe, a déjà fait des merveilles en Amérique; elle est destinée à remplacer dans peu d'années, en grande partie, pour ne pas dire totalement, la traction animale. Elle sera traitée en détail dans un volume de cette bibliothèque.

La transmission de force motrice à distance est appelée à révolutionner l'industrie électrique actuelle, en transmettant électriquement à distance la puissance des chutes d'eau, la puissance mécanique empruntée à la puissance calorifique du charbon brûlé à la mine, en supprimant à l'intérieur des villes les grandes usines génératrices, etc... etc. Cette importante question surtout depuis l'utilisation des courants di et triphasés et polyphasés exige des études nombreuses et étendues, que nous ne saurions développer ici. Nous nous contenterons de bien établir que nous désignons sous le nom de transmission de force motrice l'application qui consiste à transmettre à distance de l'énergie électrique qui n'est pas *utilisée directement* (pour actionner des appareils tels que ventilateurs, machines-outils, etc.), mais qui est utilisée pour *actionner une dynamo génératrice,* effectuant elle-même la distribution. Ces appareils, suivant l'expression de M. Hospitalier, sont des transformateurs *homo* ou *polymorphiques* d'énergie électrique. Exemple: une chute d'eau met en marche une dynamo, la puissance électrique est transmise à distance à un moteur

qui actionne une autre dynamo (stations de Budapest, Cassel,etc.). Nous désignerons au contraire sous le nom générique d'application mécanique l'utilisation à distance de ce même moteur pour la mise en marche d'appareils tels que ventilateurs, engins divers. Cette division nous permettra de laisser de côté toutes les transmissions à distance de force motrice autres que pour la mise en fonctionnement d'appareils *directement* utilisables.

Nous arrivons enfin aux applications diverses ou utilisation des moteurs électriques à différents usages. C'est cette partie que nous nous proposons d'étudier tout particulièrement; elle a également une grande importance. Ces applications peuvent être réalisées en empruntant l'énergie électrique aux réseaux de distribution établis dans les villes, ou à des installations séparées.

Nous ferons une étude détaillée des applications déjà réalisées ou possibles sur les réseaux de distribution d'énergie électrique. Une usine, dans une ville ou dans une campagne, établit souvent une station productrice de force motrice et, par suite, d'énergie électrique pour l'éclairage. Nous montrerons que cette usine a aussi avantage à transmettre électriquement l'énergie dans les ateliers pendant la journée pour machines-outils, de préférence à la transmission par courroies, ainsi qu'à actionner à distance des ventilateurs, ascenseurs, monte-charges, et appareils divers.

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

DIVISIONS GÉNÉRALES

L'énergie électrique, parmi tous les agents de distribution de l'énergie, est certainement celui qui se prête le plus facilement aux applications les plus multiples et les plus diverses. Il importe, maintenant que les stations centrales sont établies en grand nombre et donnent des résultats satisfaisants ou tout au moins pleins d'espérance en ce qui concerne la distribution de l'énergie électrique pour l'éclairage, de développer sur une grande échelle les autres applications : thermiques, mécaniques, électrochimiques, etc. Nous nous occuperons ici en particulier des applications mécaniques, et nous examinerons les questions suivantes :

A. — **Utilité et nécessité de la force motrice dans l'industrie. Importance des faibles puissances.**

B. — **Comparaisons des divers agents de force motrice au point de vue de l'installation et de l'exploitation.**

C. — **Etat actuel dans les stations centrales des consommations d'énergie électrique pour applications diverses.**

D. — **Statistique détaillée des puissances électriques consommées pour force motrice dans les stations centrales. Renseignements divers.**

Ces divers points élucidés, il nous sera facile de tirer des conclusions pratiques.

A. — Utilité et nécessité de la force motrice dans l'industrie. Importance des faibles puissances.

L'industrie a pris aujourd'hui une grande extension; la fabrication en général a pris un développement considérable. Il s'agit donc de produire le plus vite possible et dans les meilleures conditions de bon marché. Dans les villes, c'est le travail des pièces d'appareils, le travail des préparations, etc., et la liste en est longue : c'est le serrurier, le travailleur de métaux qui doit fournir en quelques jours des pièces de toute nécessité, c'est le tourneur qui en quelques heures doit livrer des parties indispensables pour le montage de tels ou tels appareils. Le même besoin de force motrice se fait sentir dans toutes les industries pour actionner des machines pour travailler le bois, machines typographiques, machines à coudre pour tailleurs, machines pour charcutiers, ascenseurs, broyeuses, machines à hacher, pompes pour élévation des liquides, presses à imprimer, tours, scies et fraises, etc.

Nous en avons du reste une démonstration frappante dans les différentes expositions de machines-outils qui ont eu lieu pendant ces dernières années à Breslau, à Budapest, à Luxembourg, à Prague, à Gratz, à Palerme, etc. Nous citerons en particulier l'exposition de Budapest qui a eu lieu du mois de mai au mois de septembre 1894.

L'exposition a compris des machines actionnées par 32 moteurs à courants alternatifs et des machines actionnées par 42 moteurs à courants continus. La puissance de chacun de ces moteurs ne dépassait pas au maximum 10

chevaux. Les machines mises en mouvement par moteurs à courants continus étaient : 8 machines à travailler les métaux de la Compagnie G. Kærger, de Berlin, conduites par un moteur; 1 machine à imprimer de la Compagnie W. Angerer, de Vienne, 6 machines-outils de la Compagnie *Berliner Werkzeugmaschinenfabrik*, actionnées par un moteur, 3 tours de la Compagnie A. Richter, de Vienne, 10 machines à travailler le bois de la Compagnie G. Kiessling, de Leipzig, avec commande individuelle et générale par un moteur, 5 machines à laver de la Compagnie Gærdtner et Knopp, de Vienne, 2 machines à filer de la compagnie G. Hutter, de Vienne, montées sur un moteur, et plusieurs machines de la Compagnie Siemens et Halske, entre autres : 6 ventilateurs de divers modèles, 1 machine à percer radiale, 1 métier à tisser, 1 soufflerie centrifuge, 1 moteur de 10 chevaux, 1 machine à glace, appareils qui prennent une puissance de 0,5 à 10 chevaux. Il faut ajouter à celà 6 autres moteurs fournis par diverses Compagnies. Les 36 moteurs que nous avons mentionnés plus haut ont été installés par la Compagnie Siemens et Halske. Les moteurs à courants alternatifs établis par la maison Ganz et Cie actionnaient diverses machines outils et autres engins pouvant être utilisés dans l'industrie.

Enfin, à l'exposition de Lyon, en 1894, on a pu remarquer des distributions d'énergie électrique locales avec moteurs à courants triphasés répartis chez un grand nombre d'abonnés et pour des puissances très faibles de 1 à 2,8 kw. Nous citerons en particulier le moteur à courants diphasés de 7,3 kw de la Société l'*Eclairage électrique*, des moteurs à courants continus, le moteur de 15 kw à courants triphasés de la *Compagnie de Fives-*

Lille, 8 moteurs de 0,050 à 2,8 kw, et 1 de 40 kw de la même Compagnie. La *Société des ateliers d'Œrlikon* avait également exposé 1 moteur à courants triphasés de 20 kw, l'installation Lombard-Gérin comprenait 1 moteur à courants diphasés de 15 kw construit par le *Creusot;* la *Société l'Electro-mécanique* de Paris nous montrait également divers moteurs à courants continus, à courants alternatifs simples et à courants diphasés.

Récemment encore, la Société Lyonnaise des forces motrices du Rhône, dans son projet de force motrice à la ville de Lyon, dressait le tableau suivant qui indique nettement la puissance nécessaire dans une grande cité. Ce tableau est emprunté à la statistique établie par le service des mines.

Métaux divers, fonderies, chaudronneries, forges, aciéries, tôleries, ferblanteries, tréfileries, clouteries, taillanderies, ferronneries, serrureries, armureries, coutelleries, câbles, aiguilles, etc.	1 678 chevaux
Bijouteries, balances, instruments de musique, etc.	187 —
Scieries de bois, menuiserie, ébénisterie, charronnerie, etc.	731 —
Plâtres, briques, etc.	119 —
Engrais, produits chimiques et pharmaceutiques, allumettes, garance, céruse, minium, noir animal, colles, couleurs diverses, etc.	1 101 —
Savonnerie, parfumerie, cire, bougies, chandelles.	135 —
A reporter. . . .	3 951 chevaux

Report.	3 951	chevaux
Tanneries, corroieries, caoutchouc, cordes, peignes, broches, navettes, etc. . . .	654	—
Teintures, apprêts, impression sur étoffes, etc.	2 584	—
Filatures et tissages de soie, laines et cotons, passementeries, lacets, tulles, broderies, molletons, ouates, couvertures, châles, etc.	1 262	—
Chapellerie, feutre, etc.	164	—
Verreries, cristalleries, faïences, porcelaines, poterie, pipes, etc.	209	—
Sucreries, raffineries, minoteries, féculeries, pâtes alimentaires, conserves, chocolateries, épiceries, etc.	941	—
Brasseries, distilleries, huileries, eaux gazeuses, etc.	461	—
Papeteries, imprimeries, lithographies, cartonnages, maroquineries.	321	—
Bains, lavoirs, buanderies, blanchisseries, etc.	253	—
Ministères de la guerre et autres, tabacs, etc.	175	—
Usines des eaux, usines à gaz, grues, appareils de chargements.	2 025	—
TOTAL.	13 000	chevaux

Il aurait été intéressant de compléter ce tableau par le nombre de machines nécessaires pour produire cette puissance. Nous aurions eu ainsi une idée très nette des besoins de toutes ces industries. Mais nous pouvons admettre qu'en général cette puissance ne dépasse pas

15 à 20 chevaux; dans quelques cas exceptionnels elle peut atteindre 50 et même 100 chevaux. Nous verrons plus loin des exemples de puissance mécanique de cette valeur fournie par des stations centrales.

Mentionnons encore le concours de moteurs à pétrole de Meaux qui a eu lieu en mai 1894, et auquel toute la presse scientifique s'est vivement intéressée, tant à cause des études intéressantes qui ont été faites à ce propos par M. Ringelmann, rapporteur du jury, qu'à cause de la préoccupation des industriels des villes ou des campagnes de trouver une source de force motrice à bon marché.

Le service des mines a dressé pour Paris la statistique par arrondissement des chaudières et machines à vapeur établies dans la ville. Cet état remonte malheureusement au 31 décembre 1892; il peut cependant donner une idée approchée. Des indications fournies on peut déduire la puissance moyenne de chaque machine à vapeur; il est certain qu'il existe des machines plus puissantes, par exemple dans le premier arrondissement, l'usine des Halles où se trouvent 3 machines de 150 chevaux et 3 de 180 chevaux, de même dans le 9e, le 10e, etc., où se trouvent des stations centrales d'énergie électrique.

Il est également d'autres quartiers qui possèdent de grandes usines et d'importantes fabriques. Dans ces usines sont installées des machines à vapeur de puissance élevée, atteignant et dépassant même bien souvent 150 à 200 chevaux. Il aurait été importaut de désigner tout spécialement les machines en service d'une puissance supérieure à 50 ou 100 chevaux. Ce relevé n'a pas été fait, et les données ci-jointes se rapportent à des moyennes.

STATISTIQUE AU 31 DÉCEMBRE 1892, A PARIS

ARRONDISSEMENTS	CHAUDIÈRES pour force motrice. — NOMBRE	MACHINES A VAPEUR		PUISSANCE moyenne de chaque machine à vapeur. en CHEVAUX
		NOMBRE	puissance en CHEVAUX	
1	53	46	1747	37,9
2	44	34	949	27,9
3	153	148	1429	9,6
4	64	64	587	9,1
5	107	101	641	6,4
6	100	92	1009	10,9
7	64	51	2229	43,7
8	13	11	265	24
9	95	73	3247	44,4
10	264	240	3611	15
11	612	561	7000	12,4
12	181	163	1663	10,2
13	295	188	5116	26,3
14	126	116	1467	12,6
15	315	318	4737	14,7
16	72	64	1179	18,4
17	113	97	2861	29,4
18	189	179	1675	9,3
19	425	421	6381	15,1
20	263	227	7505	33
		3194	55298	17,31

Ce tableau nous montre qu'en général la puissance motrice par machine exigée dans l'industrie n'est pas très élevée à Paris. La moyenne est de 17 chevaux ; nous pouvons même admettre 50 chevaux, les stations centrales n'auront aucune difficulté à fournir la force motrice dans ces conditions. Il est à remarquer que, même dans les installations particulières, on a le plus grand intérêt à utiliser l'énergie électrique à d'autres usages que l'éclairage et en particulier pour la force motrice : nous démontrerons plus loin toute l'économie qui peut en résulter.

Nous ajouterons encore un autre état des plus intéressants; il a été publié par le Journal *Stat. Korr* de Berlin et il nous fournit des renseignements très complets sur les puissances des machines à vapeur installées en Prusse, fixes et mobiles.

ÉTAT DES MACHINES A VAPEUR EN PRUSSE (1894)

RÉGION	MACHINES A VAPEUR FIXES			MACHINES A VAPEUR MOBILES (Locomobiles)		
	NOMBRE	PUISSANCE totale en chevaux	PUISSANCE moyenne en chevaux	NOMBRE	PUISSANCE totale en chevaux	PUISSANCE moyenne en chevaux
Kœnigsberg	807	16288	20,1	574	4968	8,6
Gumbinnen	346	6746	19,4	256	2125	8,2
Danzig	885	15499	17,5	546	4986	9,1
Marienwerder	690	10247	12	667	6238	9,5
Stadtkreis Berlin	1531	58253	38	178	1556	8,7
Potsdam	2112	59609	28,2	770	9155	11,8
Frankfurt	2217	51665	23,3	556	5872	10,6
Stettin	1224	22831	18,6	538	5420	10
Kœslin	536	6134	11.4	307	3073	10
Stralsund	194	2648	13,6	224	2440	10,8
Posen	863	16405	19	673	6213	9,2
Bromberg	630	12850	20,3	497	4620	9,3
Breslau	2707	79407	29,3	856	8772	10,2
Liegnitz	1568	44752	28,5	499	4816	9,6
Oppeln	3346	188903	56,4	683	6877	10
Magdeburg	3247	78448	24,1	913	11698	12,8
Merseburg	3614	84411	23,3	587	8143	13,8
Erfurt	511	9982	19.5	141	1099	7,7
Schleswig	2195	34687	15,8	712	8156	11,4
Hannover	927	30583	33	169	1666	9,8
Hildesheim	1079	38377	35,5	346	3576	10,3
Lüneburg	623	18957	30,4	186	1887	10
Stade	385	12075	31,3	86	898	10,4
Osnabrück	487	25021	51,3	148	1313	8,8
Aurich	125	2120	16,9	97	684	7
Münster	1127	66038	58,5	240	1985	8,2
Minden	657	18018	27,4	390	2900	7,4
Arnsberg	6719	443929	66	639	6257	9,7
Cassel	703	14687	20.8	433	3781	8,7
Wiesbaden	1163	31930	27,4	310	2859	9,2
Koblentz	890	29121	32,7	199	1674	8.4
Düsseldorf	7579	317282	41,8	496	5765	11,6
Cologne	2062	63567	30,8	241	2998	12,4
Trier	1925	178153	92,6	130	1412	10,8
Aachen	1520	82018	54	114	1148	10
Sigmaringen	30	612	20,4	24	100	4,1
	57224	2172250	37,9	14425	147130	10,2

Nous remarquerons que le nombre des machines installées à Berlin (1531 fixes et 178 mobiles) est inférieur au nombre de machines installées à Paris (3194). Mais la puissance totale de ces machines est à Berlin de 58253 chevaux (fixes) de 1556 chevaux (locomobiles). A Paris la puissance totale n'atteint que 55298 chevaux. En Prusse, la puissance est quelquefois considérable ; à Arnsberg elle atteint 443929 chevaux avec 6719 machines fixes, soit pour chaque machine une puissance moyenne de 66 chevaux. A Trier, on compte 1925 machines d'une puissance totale de 178153 chevaux, soit en moyenne 92,6 chevaux par machine. Le nombre le plus élevé de machines à vapeur fixes se trouve à Düsseldorf, où il est de 7579, le nombre le plus faible est de 30 à Sigmaringen. La puissance totale est maxima à Arnsberg (443929 chevaux), et la puissance totale minima est de 612 chevaux à Sigmaringen. Malgré ces grandes divergences, on trouve en Prusse un total de 57224 machines à vapeur fixes d'une puissance totale de 2172250 chevaux, soit pour chaque machine une puissance moyenne de 37,9 chevaux. Cette moyenne est plus élevée, plus du double, que celle trouvée pour Paris. Mais nous n'avons considéré précédemment que les arrondissements de Paris, alors qu'en Prusse il s'agit de tous les grands centres industriels. Le nombre des machines locomobiles est de 14425 avec une puissance totale de 147130 chevaux, soit une puissance moyenne de 10,2 chevaux par machine.

Ces états statistiques sont des plus instructifs ; ils nous montrent très nettement que la puissance totale mécanique utilisée est considérable, mais que cette puissance est en général répartie dans des usines nombreuses. Ce serait certainement des conditions avantageuses pour

établir de grandes usines centrales, en nombre variable suivant les besoins et les dispositions des villes à desservir, et pour effectuer des distributions électriques d'énergie. Il en résulterait certainement de grandes économies dans toutes les industries, et des simplifications très grandes dans le service.

B. — Comparaisons des divers agents de force motrice au point de vue de l'installation et de l'exploitation.

Les agents de force motrice sont nombreux aujourd'hui ; mais ils sont loin de posséder tous également les mêmes avantages. Il est donc important de faire une étude comparative pour fixer les idées.

Les principaux agents de force motrice connus aujourd'hui sont : les chutes d'eau, l'eau sous pression, les moteurs à gaz, moteurs à pétrole, moteurs à air comprimé, moteurs à air raréfié, moteurs électriques et moteurs à vapeur.

Notre étude concerne surtout la force motrice à l'intérieur des villes. Nous passerons donc sous silence l'utilisation des chutes d'eau. L'eau sous pression a déjà trouvé plusieurs applications ; mais à Paris, il serait difficile de chercher à l'utiliser, lorsqu'elle manque déjà pour les besoins domestiques. L'air raréfié existe encore à Paris, mais son cercle d'application est bien étroit, et tend à disparaître d'un jour à l'autre.

Nous n'examinerons donc que : les moteurs à gaz, moteurs à pétrole, moteurs à air comprimé, moteurs électriques et moteurs à vapeur.

Nous distinguerons deux parties essentielles.

1° *Installation.*
2° *Exploitation.*

1° *Installation.*

Le meilleur procédé pour se rendre compte des prix respectifs d'installation des différents moteurs est évidemment de tracer des courbes comparatives des prix de revient pour une même puissance.

Ce prix de revient doit comprendre, d'une part, le prix d'achat du moteur et ensuite des dépenses nécessaires pour l'aménagement (fondations, canalisations, tuyaux d'eau, de gaz, etc., etc.). Ces diverses installations sont très différentes selon les cas, et il serait bien difficile de pouvoir les apprécier même d'une manière approchée. Nous avons préféré dans notre travail ne tenir compte que du prix d'achat; nous ferons remarquer toutefois que, pour ce qui concerne l'établissement, l'avantage resterait certainement aux moteurs électriques qui ne demandent que deux fils de diamètre plus ou moins grand, et des fondations assez restreintes.

En comparant les prix de divers constructeurs, nous avons calculé le prix d'installation moyen du kw utile sur la poulie des moteurs en fonction de la puissance depuis les puissances les plus faibles, 0,010 kw, jusqu'à 73,6 kw. La courbe ci-après (Fig. 1) donne les résultats pour les moteurs électriques, à gaz, à air comprimé, à vapeur et à pétrole. Dans les moteurs à gaz, nous n'avons compris que les moteurs à gaz ordinaire et non à gaz pauvre : ces derniers moteurs, quoique très intéressants, ne peuvent guère convenir pour les installations de faible puissance à l'intérieur des villes (1); nous en dirons cependant quelques mots.

(1) Nous apprenons l'apparition d'un nouveau moteur à gaz pauvre, système Bénier, ne demandant qu'un gazogène de faibles dimensions.

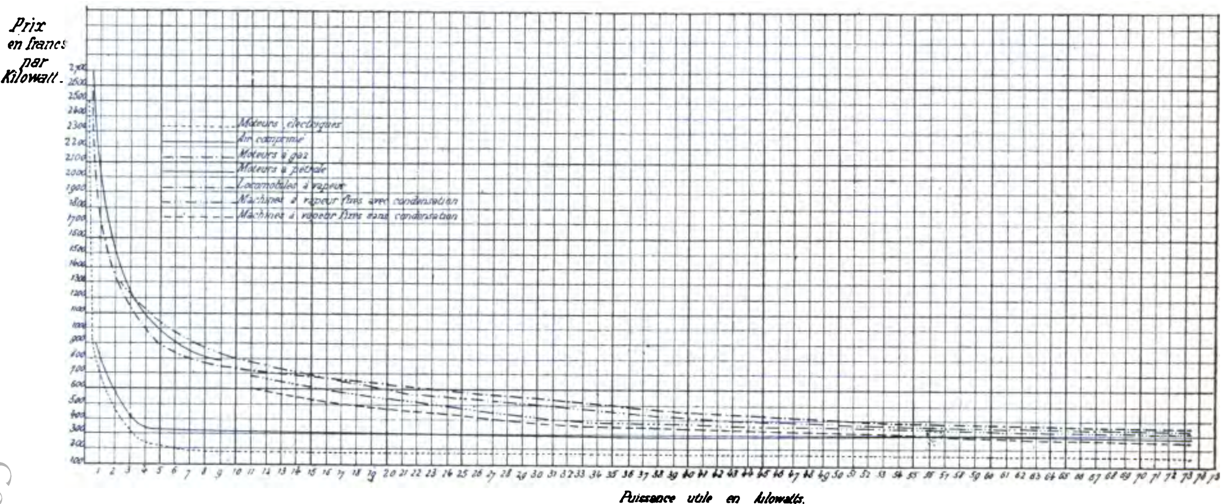


Fig. 1. — Prix d'achat des divers moteurs par kw utile en fonction de la puissance utile.

En ce qui concerne les moteurs à vapeur, nous avons pris les résultats pour des locomobiles à partir de 2,5 kw, et pour des machines à vapeur sans condensation et avec condensation à partir de 11 kw. Nous avons compté dans ce dernier prix la dépense d'achat de la chaudière et de la machine à vapeur, mais nullement le prix d'installation de la tuyauterie, etc.

Les moteurs à pétrole ont une puissance de 0,368 kw jusqu'à 8,8 kw. Les moteurs à air comprimé partent des puissances les plus faibles jusqu'à 73,6 kw.

Malgré les conditions défavorables, dans lesquelles nous nous sommes placés, puisque bien souvent les installations de tuyauteries et autres aménagements nécessiteraient une dépense élevée, nous remarquons que le moteur électrique demande les dépenses de premier établissement les plus faibles depuis une puissance de quelques watts jusqu'à 73,6 kw. Le prix, d'abord élevé pour les faibles puissances, baisse rapidement et à partir de 5 kw décroît faiblement en atteignant une valeur qui ne dépasse pas 200 francs par kw. Ensuite vient le moteur à air comprimé qui suit une allure pareille ; à partir de 3,5 kw, la dépense est environ de 350 à 280 fr par kw. C'est sans doute à cette faible dépense de premier établissement que la distribution de l'air comprimé a dû toute la faveur dont elle a pu jouir à Paris au moment où les distributions d'énergie électrique n'étaient pas encore établies.

Viennent ensuite les moteurs à vapeur fixes sans condensation, mais à partir de 11 kw seulement, puis les moteurs à vapeur fixes avec condensation. Nous trouvons ensuite les moteurs à gaz pour les faibles puissances jusqu'à 16 kw, puis les moteurs à pétrole jusqu'à 9 kw,

et enfin les locomobiles jusqu'à 16 kw. Nous remarquerons que l'on ne construit pas aujourd'hui des moteurs à pétrole de puissance supérieure à 10 kw. Les locomobiles qui sont d'un prix plus élevé que les moteurs à gaz reprennent l'avantage à partir de 16 kw.

Les résultats que nous donnons n'ont évidemment rien d'absolu ; ils sont basés sur les prix moyens actuels mais ils servent au moins à fixer quelque peu les idées. Il se peut que, dans des cas divers, l'installation d'un moteur soit plus économique que l'installation d'un autre. Mais il est resté bien évident que les moteurs électriques sont ceux qui nécessitent les moindres dépenses. Nous pourrions ajouter maintenant que ces derniers peuvent s'installer partout sur des planches, sur des consoles, etc... alors que les autres moteurs demandent souvent des locaux spéciaux et des dispositions particulières (échappement des gaz, de l'air, réchauffement de l'air... etc.).

Afin de diminuer les prix d'installation, la Compagnie parisienne du gaz a établi des primes qui sont payées après le 1/3 de la consommation totale de gaz exigée dans un délai de 2 ans.

2° *Exploitation.*

La question de l'exploitation des moteurs est certainement la plus importante de toutes, et en même temps la plus délicate à traiter.

Une étude complète doit comprendre les dépenses relatives : 1° à l'agent moteur consommé (gaz, énergie électrique, eau, pétrole, etc.) ; 2° au graissage ; 3° à l'entretien et aux réparations ; 4° aux frais divers de location (branchements, compteurs) ; 5° aux intérêts et amortissement.

Toutes ces dépenses doivent être évaluées par kilowatt-heure utile sur la poulie. Cette étude doit comprendre également tous les frais accessoires incombant à chaque système. Plusieurs études de ce genre ont déjà été faites et nous citerons en particulier les chiffres intéressants fournis par M. G. Dumont dans un article du *Génie civil* du 26 mai 1894.

Nous ne reviendrons pas sur des travaux semblables; mais nous étudierons la question à un point de vue un peu différent. Nous verrons :

α) Le fonctionnement théorique; β) le fonctionnement pratique.

α) Fonctionnement théorique.

Considérons d'abord les moteurs connus dans leur fonctionnement à puissance maxima. Si nous adoptons les prix à Paris pour ce qui concerne le charbon (35 fr la tonne), l'eau (0 fr 30 le m^3), l'énergie électrique (0,61 fr le kwh), l'air comprimé (0,015 fr le m^3), le gaz (0,30 fr le m^3) etc., et en prenant les chiffres établis par M. Ringelmann au concours de Meaux 1894, nous trouvons les chiffres relatifs suivants pour le prix de revient de l'énergie utile; la dépense par kilowatt-heure utile du moteur à gaz est représentée par 1, pour la marche à puissance maxima.

	Au-dessous de 0,736 kw	Au-dessus de 7,36 kw
Moteur à gaz	1	1
Moteur à vapeur	1,14	0,75
Moteur à pétrole	1,40	1,16
Moteur électrique	1,85	1,25
Moteur à air comprimé	2,10	1,50

Ce tableau nous montre qu'à puissance maxima le moteur à gaz est le plus avantageux pour des puissances au-dessous de 7,36 kw; au delà le moteur à vapeur reprend l'avantage. Si nous poursuivions notre étude pour des puissances plus élevées, nous trouverions des changements notamment en ce qui concerne les dépenses des moteurs à gaz et à vapeur. Il est, en effet, reconnu aujourd'hui que les moteurs à gaz dépensent environ 25 à 30 pour 100 en plus que les moteurs à vapeur pour une même quantité d'énergie. Mais pour les puissances faibles, au-dessous de 4 à 5 chevaux, on a recours à des locomobiles à vapeur qui ne sont pas toujours très économiques.

Les chiffres que nous donnons plus haut n'ont du reste rien d'absolu ; ils sont basés sur des résultats comparatifs que nous avons pu nous procurer de part et d'autre.

M. Witz a établi le tableau suivant qui donne les prix de revient comparatifs du cheval-heure avec des systèmes de moteurs différents, et pour des puissances variables.

NATURE DU MOTEUR	PUISSANCE en chevaux.	PRIX DE REVIENT du cheval-heure utile.
Moteur à gaz Bischop.	1/12	2,56 fr.
— à air comprimé	1/12	2,58 »
— à air raréfié	1/12	1,90 »
— à gaz Kœrting-Boulet . .	1	0,45 »
— à air raréfié	1	0,50 »
— à gaz Lenoir.	2	0,32 »
— à air carburé Durand . .	2	0,43 »
— à vapeur Boulet . . .	2	0,34 »
— à air chaud Bénier. . .	2	0,38 »
— hydraulique Schmid . .	2	1,09 »

(Eau à la pression de trois atmosphères 0,10 le m³)

On fait aujourd'hui des installations de moteur à gaz pauvre d'un très grand intérêt. Un gaz pauvre est obtenu par distillation d'un charbon maigre, et ce gaz vient actionner le moteur. Les dépenses de charbon tombent à 600,500 et jusqu'à 400 grammes par cheval-heure pour des moteurs d'une puissance supérieure à 50 chevaux. Le charbon est un charbon inférieur de 20 à 30 francs par tonne. On peut obtenir le cheval-heure utile avec une dépense de 0,008 à 0,012 fr. L'installation première est coûteuse, il est vrai, et nécessite des appareils encombrants pour la ville ; mais dans un grand nombre de cas, ces installations d'une exploitation économique entre toutes peuvent rendre les plus utiles services.

M. Witz, ingénieur, dont la compétence est hautement appréciée en matière de moteurs à gaz, a établi une comparaison entre les prix de revient du cheval-jour avec deux moteurs de 75 chevaux, l'un à vapeur, système Corliss à condensation, avec enveloppe, chaudière et réchauffeur, et l'autre à gaz Simplex, à un cylindre, système Delamarre-Deboutteville et Malandrin alimenté par un gazogène Dowson. Les dépenses ont été les suivantes, pour un travail de 10 heures par jour :

Machine à vapeur.

Capital d'installation.	32 300 fr
Entretien, intérêt, amortissement à 15 pour 100 par an, soit par jour.	16,15 fr
Charbon de Cardiff 1,180 kg par cheval-heure, à 27,50 fr. la tonne, soit par jour.	24,34 »
Huile 2,256 kg par jour à 0,65 le kg. . . .	1,45 »
Chauffeur mécanicien	6 »
. . . .	47,94 fr

Moteur à gaz pauvre.

Capital d'installation	32 300 fr
Entretien, intérêt, amortissement à 15 pour 100 par an, soit par jour.	16,15 fr
Anthracite 516 g par cheval-heure, à 31,70 fr la tonne	12,27 »
Coke 96 kg par cheval-heure à 35 fr la tonne. .	2,52 »
Huile 3,74 kg par cheval-heure à 0,65 fr le kg .	1,82 »
Graisse 0,337 kg par jour à 1,5 fr le kg . . .	0,50 »
Allumage électrique, par jour	0,35 »
Chauffeur mécanicien	6 »
. . . .	39,61 fr

Il résulterait de ces chiffres un avantage très sérieux en faveur du moteur à gaz pauvre sur le moteur à vapeur environ 17 pour 100.

Nous pouvons aussi donner quelques prix de revient empruntés au *Journal des usines à gaz*, et qui ont été déterminés par des expériences consécutives de cinq années à la compagnie parisienne du gaz sur des moteurs à vapeur et à gaz de 15 chevaux. Toutes les dépenses ont été comptées : consommations de gaz, d'eau, graissage, entretien, réparations ; il n'a pas été tenu compte de l'amortissement.

Ces résultats sont les suivants :

Moteur à gaz.

	PRIX DE REVIENT du cheval-heure utile en francs.
Gaz à 0,30 fr le m³	0,290
— 0,20 fr —	0,208
— 0,15 fr —	0,167

Moteur à vapeur.

Coke à 45 fr la tonne (Paris)	. . .	0,191
à 32 fr —	. . .	0,165

Pour ces puissances faibles (15 chevaux), la différence est en faveur du moteur à vapeur en comptant le gaz au prix de vente 0,30 fr le m³. Avec du gaz à 0,15 fr le m³, le prix de revient du cheval-heure est sensiblement le même avec du coke à 32 fr la tonne.

Pour les moteurs au pétrole, la consommation est environ de 400 à 500 grammes par cheval-heure. Au prix actuel de 0,40 fr le litre ou 0,487 fr le kg. (D = 0,820), le prix de revient du cheval-heure est de 0,243 fr pour des puissances de 15 chevaux environ. Mais on parle actuellement de dégrèvements qui ramèneraient les prix de 0,21 à 0,15 fr par cheval-heure.

Nous ferons toutefois une remarque qui a son intérêt. Le prix de 0,61 fr le kwh, prix auquel les compagnies électriques à Paris fournissent l'énergie électrique pour la force motrice, a été fixé en 1888 par le conseil municipal comme un maximum (0 fr 45 le cheval-heure). Mais il est bien évident que ce prix est trop élevé encore, surtout si on le compare aux prix consentis dans divers autres pays, comme nous le verrons quelques pages plus loin. Et cependant dans les conditions actuelles, il serait difficile aux compagnies électriques de fournir l'énergie électrique pendant la journée à un taux inférieur. Elles consentent cependant dans bien des cas à des rabais plus ou moins élevés suivant l'importance de l'installation. Il nous faut ajouter aussi qu'elles consentiront certaine-

ment à de grandes réductions de prix, quand le Conseil municipal aura prolongé les concessions actuelles qui ne sont que de 18 ans et courent depuis 1888. Les abonnés sont peu nombreux, et la consommation d'énergie électrique pour force motrice n'est pas encore assez élevée pour permettre le fonctionnement d'une station centrale pendant la journée dans des conditions suffisamment rémunératrices. Les usines électriques ne peuvent donc compter ces consommations de la journée pour une source de revenus, et sont obligées de compter uniquement sur les recettes de la soirée pour l'établissement du prix de revient. Il en résulte que les dépenses d'intérêts, amortissements, entretien, etc. sont supportées par une faible quantité d'énergie électrique. Nous arrivons alors au prix suivant du kwh, comme le disait M. G. Claude dans un article de la *Lumière Electrique*.

Combustible.	0,10 fr
Graissage, chiffons.	0,05 »
Personnel	0,15 »
Amortissement	0,30 »
	0,60 »

Si la production augmentait pendant la journée, les dépenses de personnel,amortissement, etc., diminueraient par kwh. Il serait alors facile d'une part d'établir des prix peu élevés pour force motrice pendant la journée, et d'autre part aussi des prix plus faibles que les prix actuels pour la fourniture de l'énergie électrique, destinée à l'éclairage.

Terminons ces réflexions en faisant observer que parfois les installations ne comportent qu'un seul compteur

pour force motrice et éclairage. L'énergie électrique pour force motrice est donc vendue à un prix plus élevé que ne l'autorisent les décisions prises par la ville de Paris.

β. Fonctionnement pratique.

Il nous faut maintenant examiner la question à un point de vue plus pratique.

La marche à puissance maxima que nous avons étudiée plus haut est une marche absolument *théorique*. Un moteur installé dans une usine, atelier, ou pour toute autre application, ne fonctionne que rarement à puissance maxima. De plus l'appareil, ou les appareils que ce moteur doit commander ne sont le plus souvent pas à proximité, surtout quand il s'agit de moteurs à vapeur, à gaz, à pétrole qui ont besoin d'une installation spéciale dans un local approprié. Il est nécessaire d'établir des transmissions à distance, quelquefois une, quelquefois deux. Pour le moteur électrique au contraire, il peut être placé directement à côté des machines à entraîner avec un engrenage ou toute autre transmission intermédiaire. Deux fils suffisent pour lui amener la puissance électrique. S'il y a plusieurs outils, plusieurs moteurs électriques indépendants peuvent être installés. Sans doute les frais d'installation sont plus élevés mais dans une faible mesure. Nous discuterons plus loin dans le paragraphe relatif aux transmissions toutes ces questions; mais nous pouvons dès maintenant établir les grands avantages que procureront *en marche pratique* les moteurs électriques.

C'est également à ce même point de vue que l'on peut comparer les résultats fournis dans les ateliers par une machine à vapeur avec transmissions par courroies, câbles,

etc., ou par une machine à vapeur et transmission électrique.

Examinons successivement la durée d'utilisation et les transmissions.

a. Durée d'utilisation.

La durée d'utilisation a une grande importance. Dans une application quelconque, un moteur ne fonctionne pas toujours à sa puissance maxima ; il marche quelquefois à vide, souvent à 1/2 charge, parfois à 1/4 charge. On comprend facilement que dans une installation on est toujours porté à prendre une puissance plus élevée que la puissance nécessaire pour ne pas se trouver dans des conditions trop justes. Nous avons eu l'occasion d'observer à Paris quelques installations mécaniques de ce genre :

Dans une usine de produits chimiques, une pompe actionnée par un moteur à gaz de 4 chevaux travaille 4 heures par jour à pleine charge. Ce sont certainement là les meilleures conditions de fonctionnement que l'on puisse réaliser en pratique.

Dans une autre installation, un moteur à vapeur de 20 chevaux actionne une transmission qui fournit l'énergie mécanique à une fabrique se trouvant dans une salle voisine. Cette fabrique comprend 4 machines-outils, prenant environ chacune une puissance de 5 kw à pleine charge ; mais on doit compter que ces machines ne travaillent que 5 heures par jour, environ 2 heures à pleine charge, 2 heures à moitié charge et 1 heure à quart de charge. Ces heures sont réparties sur toute la journée.

Dans une maison de commerce, un monte-charges

allant au 5e étage, d'une puissance de 3 chevaux, fournie par un moteur à gaz, travaille 3 heures par jour. Ces heures sont réparties en quarts d'heure espacés ; la puissance est souvent très faible, suivant la charge à monter. Les charges peuvent se présenter à tout instant ; le moteur doit donc être constamment prêt à fonctionner.

Une autre application nous donne quelques renseignements sur la durée d'utilisation. Il s'agit d'un moteur qui actionne un hache-paille pendant 1 heure de la journée, un ventilateur pendant trois heures en été, et un brûloir à café pendant 2 heures. La puissance consommée dans ces diverses opérations n'est pas la même, et le moteur travaille respectivement à pleine charge, à moitié charge et à quart de charge.

Ces quelques exemples, que nous pourrions encore multiplier, nous prouvent 1° que la durée d'utilisation est très variable, 2° que la puissance exigée en marche est très variable, et n'atteint que rarement la puissance maxima, et le plus souvent la moitié ou le quart de cette puissance.

Les conditions du prix de revient du kwh utile que nous avons indiquées pour le fonctionnement *à pleine charge ou à puissance maxima* des moteurs ne sont donc que *théoriques*. Et pour comparer ces dépenses, il est absolument *indispensable* d'avoir des résultats d'expériences. Le moteur électrique en effet a un rendement industriel qui ne varie que dans des faibles proportions, nous le verrons plus loin, pour une variation de charge du maximum au quart. Il n'en est plus de même pour les autres moteurs. Le moteur électrique peut être arrêté facilement lorsqu'une machine-outil est au repos, même pour un laps de temps très faible, 10 minutes, un quart

d'heure. Les autres moteurs ne peuvent être arrêtés facilement pour une durée trop courte; les opérations de remise en marche sont trop longues et trop onéreuses.

b. Transmissions.

A la durée d'utilisation vient se joindre la question des transmissions. On conçoit qu'un moteur obligé d'entraîner une transmission principale, et des transmissions secondaires, quelquefois sans aucune charge utile, fonctionnera dans de mauvaises conditions; il faudra compter avec les pertes dans les transmissions. Et la plupart du temps celles-ci seront nécessaires, car le moteur à gaz, surtout quand il s'agit de puissances au-dessus de 4 à 5 kw, exige un local approprié. Le moteur électrique, d'un volume restreint, peut se placer dans la pièce ou dans la salle même, où se trouvent les appareils qu'il doit commander.

c. Exemples.

Pour fixer les idées à ce sujet, le procédé le plus frappant est de citer les résultats fournis jusqu'ici par quelques exemples. Ils ne sont malheureusement pas nombreux, parce que l'on ne connaît pas encore tous les avantages que procurent les moteurs électriques.

Dans un atelier à Paris, un moteur à gaz de 8 chevaux entraînait 4 machines-outils, par une transmission principale placée dans l'atelier. Il se trouvait dans une salle voisine et a été remplacé par quatre moteurs électriques, un pour chaque machine-outil. L'installation a été faite à condition. A la fin de la première année, l'industriel a trouvé, *tous frais compris*, une économie qu'il a esti-

mée à 15 pour 100 relativement à l'ancienne installation.

D'autres usines, ayant des moteurs à gaz de 5 et 10 chevaux, ont trouvé des économies de 8 et 16 pour 100. Une seule fabrique, possédant cinq moteurs de 1,5 cheval au lieu d'un moteur à gaz de 10 chevaux, n'a trouvé qu'une économie de 5 pour 100 environ à la fin de la première année. On peut expliquer ce résultat par une dépense excessive d'énergie électrique. Quand la machine-outil ne fonctionnait plus, le moteur n'était pas toujours arrêté.

Citons aussi une installation comprenant un moteur électrique de 3 chevaux pour actionner un monte-charges et un hache-paille. L'économie après un an et demi de fonctionnement est environ de 20 pour 100 sur le moteur à gaz.

On connaît aujourd'hui les résultats obtenus depuis deux ans dans les nouveaux ateliers des services électriques de la *Cie des chemins de fer du Nord* à Saint-Ouen-les-Docks. M. E. Sartiaux, chef des services électriques, a bien voulu nous fournir quelques renseignements et nous autoriser à les reproduire. L'installation, que nous décrirons plus loin, comprend 19 machines-outils dont 1 de 2,2 kw, 10 de 1,1 kw, 4 de 0,300 et 4 de 0,065. Ces machines étaient actionnées autrefois par un moteur à gaz de 12 chevaux Les dépenses totales avec la transmission électrique ont été de 1463,65 fr en 1892, dont 1155,60 fr pour l'énergie électrique et 308,85 fr pour l'entretien, et divers. En 1893 les dépenses ont été de 1699,70 fr, dont 1361,50 fr pour fourniture d'énergie électrique et 338,20 fr pour l'entretien. L'énergie électrique est fournie par la *Société d'Eclairage et de force* au prix de 0,38 fr le kwh; la durée des journées de travail a été

de 300 dans l'année. Si nous comptons le prix du kwh à 0,61 fr pour nous trouver exactement dans les conditions ordinaires de Paris, la dépense s'élève à 7,51 fr par jour en 1892 et à 8,77 fr en 1893 au lieu de 13 fr avec le moteur à gaz; l'économie réalisée a donc encore atteint 32,5 pour 100 en 1893 et 42,3 en 1892. Cette installation nous permet de déduire une remarque intéressante relative à la durée d'utilisation. Les 19 machines-outils ont des moteurs d'une puissance totale de 14,660 kw, soit une moyenne de 0,771 kw pour chacun d'eux. La quantité d'énergie électrique fournie a été de 3041 kwh en 1892 et de 3582 kwh en 1893. Pour 300 jours de travail, la consommation a donc été de 10,14 kwh par jour en 1892 et de 11,94 kwh par jour en 1893. En admettant une moyenne de travail continu de cinq heures par jour, la puissance dépensée a été de 2,02 kw en 1892 et de 2,38 kw en 1893. Supposons que sur 19 machines, 9 seulement aient travaillé ensemble; elles pouvaient fournir 9. 0,771 = 6,939 kw, elles ne travaillaient donc qu'au tiers de charge environ.

Ces quelques considérations suffisent à appuyer nos assertions précédentes en ce qui concerne les durées d'utilisation, et les puissances pendant la marche normale.

Nous citerons encore l'exemple de comparaison de dépenses pour un moteur à gaz de 4,5 chevaux et pour un moteur électrique de même puissance, exemple décrit par M. Rechniewski dans le Journal *L'Electricien* du 7 avril 1894. Un industriel désirait une force motrice de 4,5 chevaux ; devait-il prendre un moteur à gaz ou un moteur électrique ? L'examen des dépenses probables l'a convaincu de suite et l'a déterminé à prendre le moteur électrique.

Les dépenses avec les moteurs à gaz étaient les suivantes :

	à vide	à pleine charge
1° Consommation de gaz :		
1800 litres par heure . . .	0,54 fr	
2400 — . . .		1,35 fr
2° Huile.	0,12	0,12
3° Entretien	0,13	0,13
4° Amortissement en 10 ans et intérêts à 5 pour 100	0,199	0.199
	0,989	1,799

Les dépenses pour le moteur électrique étaient

1° Energie consommée :		
350 watts-heures à 0,061 fr l'hwh.	0,213	
3900 — —		2,379
2° Huile.	0,001	0,001
3° Entretien	0,020	0,020
4° Amortissement en 10 ans et intérêts à 5 pour 100.	0,099	0,099
	0,333	2,499

L'avantage reste au moteur à gaz pour une marche à pleine charge; mais le moteur électrique l'emporte quand il s'agit d'une marche à faible puissance, et c'est le cas ordinaire d'utilisation des moteurs dans l'industrie.

La maison Siemens et Halske de Berlin a effectué la transmission électrique dans ses ateliers de Charlottenburg à la place des transmissions par courroies; en dehors des avantages qui en résultent pour l'aspect de l'atelier, et pour éviter l'encombrement, cette importante maison a réalisé une économie qu'elle estime à 35 pour 100.

En 1892, M. Hartmann, de l'*Allgemeine Elektricitœts*

Gesellschaft, dans une fort intéressante communication à la Société des Ingénieurs allemands, après un grand nombre d'expériences réalisées par sa société, indiquait comme résultats pratiques, en faveur de la transmission électrique, des économies de 32 pour 100 sur les transmissions à 3 degrés, c'est-à-dire avec 2 transmissions intermédiaires, et de 18 pour 100 sur les transmissions à 2 degrés. Dans le premier cas les rendements étaient à pleine charge de 73 pour 100 avec la transmission électrique au lieu de 49 pour 100 avec la transmission mécanique, et, dans le second cas, ils étaient de 70 pour 100 au lieu de 58,3 pour 100 aux 3/4 de la charge maxima.

Dernièrement encore la *Société de la Vieille-Montagne* à Jemeppe, en Belgique, a remplacé un grand nombre de machines à vapeur de faible puissance réparties dans diverses parties des usines. Elle a établi une station centrale de distribution de force motrice comprenant trois chaudières Babcock et Wilcox, dont une de réserve, une machine à vapeur compound à condensation système Frickart, et une dynamo Pieper de 440 kw à 500 volts, à la vitesse angulaire de 80 tours par minute. Un moteur électrique de 33 kw actionne une pompe qui puise l'eau dans une rivière à 2,7 km de là; des moteurs électriques actionnent deux grues qui se trouvent sur le bord de la rivière pour le chargement et le déchargement des canots. Dans l'usine sont installés 5 moteurs de 0,736 kw, 7 de 1,472 kw, 6 de 2,576 kw, 6 de 3,680 kw, 4 de 5,152 kw, 2 de 7,728 kw, 4 de 10,400 kw, 2 de 18,400 kw, 1 de 47,100 kw pour la mise en marche de tours, scies, soufflets, ascenseurs, etc. Le rendement industriel moyen de toute la transmission est de 68,5 pour

100. Il n'est pas trop osé d'affirmer que le rendement industriel moyen, dans les mêmes conditions de fonctionnement de l'ancienne installation avec machines à vapeur de faible puissance, ne dépassait pas 25 à 30 pour 100. Il en résulte donc une économie de 43,5 à 38,5 pour 100.

Ces quelques données nous prouvent que le moteur électrique est le moteur dont les prix d'installation et d'exploitation sont les plus faibles; c'est aussi le moteur qui se prête le plus facilement à toutes les exigences de l'industrie.

Le moteur à gaz ordinaire ou à gaz pauvre est avec le moteur à pétrole le plus intéressant des autres moteurs; et nous ne serions pas étonnés que, dans un avenir plus ou moins rapproché, les moteurs à gaz ne soient utilisés dans des stations centrales à l'intérieur des villes pour commander des dynamos et effectuer des distributions électriques d'éclairage et de force motrice.

C. Etat actuel dans les stations centrales des consommations d'énergie électrique pour applications diverses.

Malgré tous les avantages que nous avons établis précédemment en faveur des installations de moteurs électriques, ces derniers ne sont pas encore très répandus. Ils commencent à être employés cependant d'une manière un peu générale dans presque tous les pays. A Paris, l'air comprimé, qui est arrivé en 1886, alimente un grand nombre de moteurs. Le compte-rendu de l'exploitation accusait en 1889 environ 401 moteurs d'une puissance totale de 1837 chevaux; depuis cette époque, aucun renseignement n'a été publié et n'a pu nous être fourni. Cette faveur du public peut s'expliquer par le fait que l'air

comprimé est arrivé à un moment où il n'y avait pas encore de distributions d'énergie électrique et où les moteurs à gaz n'avaient pas encore atteint la perfection qu'ils ont aujourd'hui.

Si nous considérons en effet les consommations d'énergie électrique pendant la journée dans les stations centrales, nous trouvons des quantités extrêmement faibles.

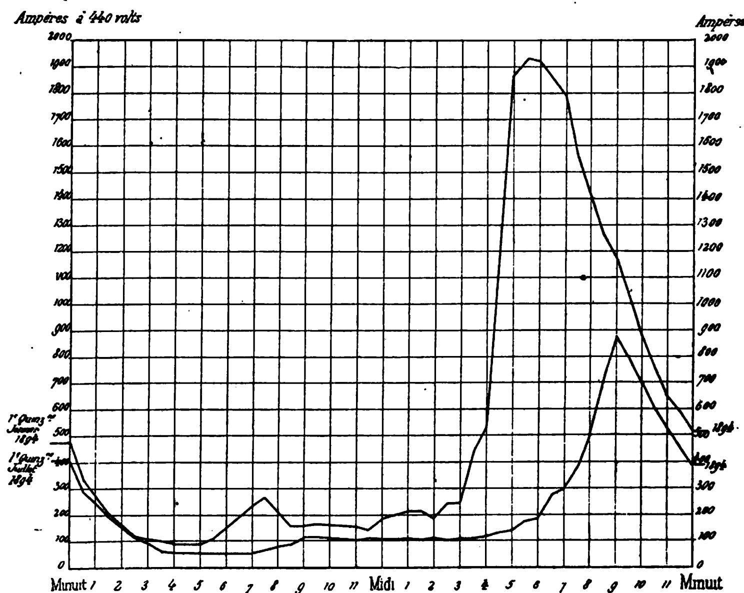


Fig. 2. — Intensité en ampères (à 440 volts) à chaque heure de la journée, sur le secteur de la Place Clichy, à Paris (été et hiver 1894).

M. Soubeiran, ingénieur principal du secteur de Clichy, a bien voulu nous fournir des courbes de consommation journalière pour l'hiver (1re quinzaine de janvier), et pour l'été (1re quinzaine de juillet) (Fig. 2).

Ces courbes donnent pour chaque heure de la journée le débit total en ampères à une différence de potentiel de 440 volts. Nous remarquons que, pour l'hiver, la consommation est de 260 ampères à 7 h. 1/2 du matin, puis elle tombe à 155 ampères à 8 h. 1/2 et se maintient à cette valeur jusqu'à 11 h. 1/2, où elle tombe à 130 ampères. Dans l'après-midi elle augmente graduellement jusqu'à 3 heures pour atteindre 240 ampères, et à partir de ce moment commence le service du soir. A 5 h. 1/2 a lieu le grand maximum de consommation qui est de 1940 ampères. La consommation diminue ensuite graduellement. Nous remarquons que la puissance maxima utilisée dans la soirée est de 1940.440 = 853,6 kw et dans la journée à partir de 8 h. 1/2 matin à 3 h. soir de $210^{a}.440^{v} = 92{,}4$ kw. Le rapport de l'utilisation maxima de jour à l'utilisation maxima de la soirée n'est donc que de $\frac{92{,}4}{853{,}6} = 0{,}108$.

Si nous examinons la courbe de consommation d'été, nous retrouvons encore les mêmes conditions. Le maximum est de 875 ampères et se trouve reporté à 9 h. du soir; dans la journée il n'est que de 100 ampères. Dans le premier cas la puissance consommée est de $875^{a}.440^{v} = 385$ kw, et dans le second cas de 100.4 40 = 44 kw. Le rapport des deux consommations est de $\frac{44}{385} = 0{,}11$.

On a donc ainsi un matériel qui pendant la bonne saison (hiver) reste très mal utilisé une grande partie de la journée, et qui est encore dans de très mauvaises conditions d'utilisation dans une saison où la consommation d'énergie électrique est très faible.

Comme nous essaierons de l'établir dans le dernier chapitre, il faudrait que les stations centrales aient pendant la journée en hiver de grandes installations mécaniques à alimenter et pour une puissance presque égale à la puissance maxima disponible. Pendant l'été, ces stations pourraient alimenter des usines pour fabrications diverses (glace ou autre), afin de maintenir sensiblement à la même valeur la consommation d'énergie électrique. Sans doute c'est là l'idéal, mais pour l'atteindre, il faut sans cesse l'examiner. On peut aussi nous objecter qu'il en résultera des difficultés matérielles pour assurer le service régulier des stations centrales.

Cette objection ne nous semble pas fondée ; car les ingénieurs des stations centrales sauront toujours prendre les dispositions convenables pour assurer ce service d'une façon très régulière sans augmenter la puissance de réserve. Cette question du reste pourrait être examinée à part.

M. Clerc, directeur de la station centrale Drouot à la Cie Edison, à Paris, nous a communiqué les courbes de consommation d'un des ponts de cette usine pour l'hiver et pour l'été (Fig. 3). En hiver le rapport de la puissance maxima utilisée pendant le jour à la puissance maxima utilisée pendant la soirée est égal à $\frac{100^{a}.120^{v}}{350^{a}.120^{v}} = 0,28$; en été il est égal à $\frac{70.120}{110.120} = 0,63$. L'utilisation semble assez élevée ; mais une grande partie est utilisée pour la charge des accumulateurs de la sous-station Saint-Georges. La production totale du secteur en hiver est pendant la journée trois fois plus élevée et le maximum cinq fois plus fort que ne l'indiquent les courbes ; pour l'été cette

consommation est double pendant la journée et quadruple pour la soirée.

D. — Statistique détaillée des puissances électriques consommées pour force motrice dans les stations centrales. Renseignements divers.

Bien que les applications mécaniques de l'énergie électrique ne soient encore que fort peu développées, il importe de se rendre un compte exact de ce qui a été fait et de montrer par quelques chiffres les applications qui pourraient en résulter. Nous examinerons successivement dans ce paragraphe :

1° *Statistique proprement dite. Puissances consommées.*

2° *Répartition des puissances consommées entre les abonnés.*

3° *Consommations d'énergie électrique pour force motrice.*

4° *Prix de revient.*

5° *Durees d'utilisation.*

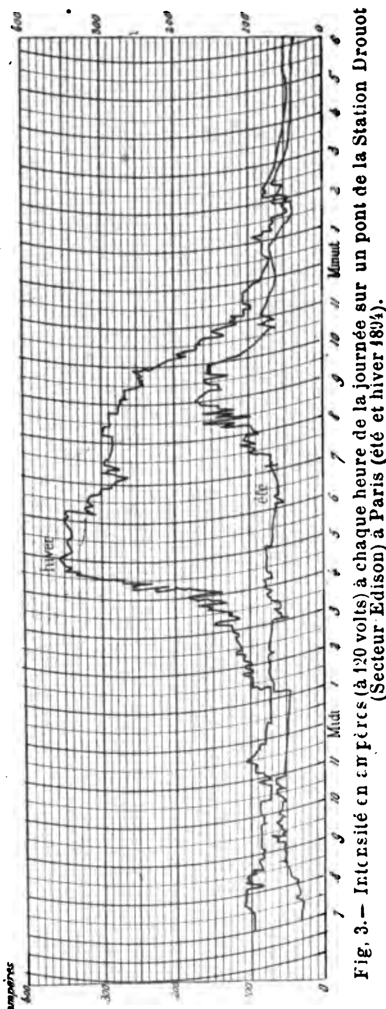


Fig. 3.— Intensité en ampères (à 120 volts) à chaque heure de la journée sur un pont de la Station Drouot (Secteur Edison) à Paris (été et hiver 1894).

Tableau statistique des puissances consommées pour force motrice dans les stations centrales

VILLE	STATION CENTRALE	PUISSANCE UTILE totale en kw A	PUISSANCE CONSOMMÉE pour force motrice en kw B	MOTEURS EN SERVICE		RAPPORT B/A	PRIX DE VENTE de l'énergie électrique pour force motrice.	OBSERVATIONS	EMPLOI
				NOMBRE	puissance moyenne en kw				
FRANCE									
PARIS	**Secteur de Clichy** . . . . **Secteur de la Société d'éclairage et de force par l'électricité**	2050	98	32	3	0,047	0,61 fr le kwh	Rabais variables suivant installations.	Ascenseurs, monte-charges, transmissions, broyeurs, hachoirs, ventilateurs.
	Station St-Ouen, primaire . . .	»	»	»	»	»	0,38 fr le kwh pour les ateliers du chemin de fer du Nord.	La station de St-Ouen fournit l'énergie électrique aux ateliers des chemins de fer du Nord à Saint-Ouen.	Ascenseurs, monte-charges, machines-outils, machines à coudre, ventilateurs.
	Station Bondy 400 Station Filles-Dieu . . . 400 Station gare du Nord. 190 . 260 Station Barbès . . . 350 Station de la Villette . . 200	1800	26	80,5	3	0,0447	0,61 fr le kwh	Rabais variables suivant installations.	

	Secteur Edison : Station Drouot. . 1000 Station Trudaine . . 800 Station Palais-Royal . 600	2400	16,2	17	0,95	0,0067	0,61 fr le kwh	Rabais variables.	Ascenseurs, ventilateurs, machines à imprimer, appareils médicaux.
	Secteur Champs-Elysées . . .	1200	10,5	5	2,09	0,0087	—	—	Ascenseurs de voitures, appareils médicaux.
	Cie parisienne de l'air comprimé.	2800	10,11	»	»	0,0036	—	—	Ascenseurs, divers.
	Réseau municipal des Halles.	240 (1) 330 (2) 570	0,890	4	0,222	0,0015	taxe de 0,90 à 0,94 fr le kwh à laquelle il faut ajouter une taxe d'abonnement de 2,50 fr par kw et par mois; soit un prix moyen de 1 fr le kwh.	Pas de compteurs spéciaux, même circuit que lumière.	Machines à imprimer, machines-outils, machines à coudre, appareils médicaux.
CARIGNAN (Ardennes).	Station centrale de distribution .	35	6,7	4	1,7 de 0,150 à 1,5	0,19	0,60 fr le kwh au compteur.	Circuit spécial de transmission pour force motrice.	Divers.

(1) Continus. — (2) Alternatifs.

VILLE	STATION CENTRALE	PUISSANCE UTILE totale en kw A	PUISSANCE CONSOMMÉE pour force motrice en kw B	MOTEURS EN SERVICE. NOMBRE	MOTEURS EN SERVICE. puissance moyenne en kw	RAPPORT B/A	PRIX DE VENTE de l'énergie électrique pour force motrice	OBSERVATIONS	EMPLOI
ALLEMAGNE									
ALTONA.	Station centrale, courants continus.	214	2,7	—	—	0,012	—	—	Machines-outils, monte-charges, tours, etc.
BARMEN.	Courants continus	403	9,4	—	—	0,023	6,1 c. le kwh.	—	—
BRESLAU.	—	903	12,8	—	—	0,014	4,2 —	—	—
CASSEL.	—	271	11,1	—	—	0,040	5 —	—	—
DESSAU.	—	196	4,6	—	—	0,023	10,3 —	—	—
DÜSSELDORF.	—	860	22,3	—	—	0,026	11,2 —	—	—
ELBERFELD.	—	587	2,4	—	—	0,004	4,5 —	—	—
GERA	—	150	—	-	—	—	2,5 —	—	—
GREIFENHAGEN	—	28,5	0,9	—	—	0,031	5,68 —	—	—
HAMBOURG.	—	685	1,2	—	—	0,0017	10 —	—	—
HANOVRE.	—	740	23,8	—	—	0,032	3 —	—	—
COLOGNE	Courants alternatifs.	833	—	—	—	—	3,1 —	—	—
COPENHAGUE	Courants continus	817	—	—	—	—	4,2 hiver. 3,1 été.	—	—
LUBECK.	—	298	13,1	—	—	0,043	3,4 c. le kwh.	—	—

MULHOUSE.	Courants continus	502	23	—	—	0,045	3,65 fr le kw	—	—
STETTIN.	—	520	25	—	—	0,048	5 —	—	—
BOCKENHEIM.	Station centrale, courants triphasés et continus .	300 triphasés 70 continus	150	27	7,3 (0,7 à 15 kw)	0,5	0,25 fr le kwh (3 kw) 0,325 le kwh (15 kw) remises de 7 à 30 pour 100 pour nombre d'heures de 500 à 2 700.	—	Fabriques, fonderies, imprimeries, etc. Quelques moteurs seulement sur le courant continu.
Stations centrales de Berlin.	—	9871	883	358	2,4	0,089	—	—	Ventilateurs, machines à imprimer, ascenseurs, tours, machines-outils.
CHEMNITZ (Saxe).	Station de MM. Siemens et Halske : Courants triphasés . . .	540	46	29	1,58	0,085	0,20 fr le kwh	—	Usages multiples.
PFORZHEIM.	Station municipale	195	71,4	400	0,178	0,366	—	Sur les 400 moteurs utilisés dans la bijouterie on en compte environ : 250 de 50 watts. 140 de 368 — 10 de 736 —	Bijouterie

AUTRICHE-HONGRIE

WEIZ.	Station centrale.	30	8,8	2	4,4	0,29	25 fr par an.	Le moteur ne doit fonctionner que dans la journée.	Horlogerie.

VILLE	STATION CENTRALE	PUISSANCE UTILE totale en kw A	PUISSANCE CONSOMMÉE pour force motrice en kw B	MOTEURS EN SERVICE Nombre	puissance moyenne en kw	RAPPORT B/A	PRIX DE VENTE de l'énergie électrique pour force motrice.	OBSERVATIONS	EMPLOI
PERGINE.	Station centrale courants triphasés.	73	20	4	5,4 (de 1,4 à 8,8)	0,272	Cheval-an 75 fr + 12,50 intérêts et amortissement.	—	—
ESSLING.	—	—	97,8	34	2,87	—	—	—	Travail du bois, des métaux, industrie chimique et corderie.
TEMESVAR	Station municipale	300	7,54	10	0,75	0,025	1 fr le kwh.	Tarif élevé à cause de difficultés de la distribution à intensité const^te.	—
SUISSE									
CHUR.	Station centrale.	220	107	10 1	3,3 73,6	0,486	—	Une ligne spéciale dessert un moteur de 73,6 kw dans un moulin.	—
SUISSE	677 stations dont 60 centrales et 617 privées. . .	13954 6774 7180	800	558 dans 193 installations	1,4	0,057	Dans l'Etat de Fribourg, tarif décroissant de 0,34 à 0,088 fr par kwh pour des puissances de 0,184 à 17 kw.	—	Bijoutiers, charpentiers, brasseurs, filateurs.

1° *Statistique proprement dite. Puissances consommées.*

Les renseignements manquent presque totalement; nous avons pu cependant, en cherchant dans les dossiers des usines centrales, nous procurer quelques chiffres sur les stations centrales de Paris, de France, d'Allemagne, d'Autriche-Hongrie et de Suisse. Tous ces renseignements relevés en octobre 1894 sont contenus dans le tableau ci-joint.

On remarquera que d'une manière générale le rapport $\frac{B}{A}$ de la puissance électrique consommée à la puissance totale utile de l'usine est extrêmement faible, mais en même temps il est très variable. A Paris, pour quelques usines, il tombe à 0,006, à 0,0024 et même à 0,0015. A Carignan, dans les Ardennes, la puissance utile est faible 35 kw ; mais une grande partie 6,7 kw est utilisée pour force motrice ; le rapport s'élève à 0,19. En Allemagne, l'utilisation pour force motrice est plus grande ; presque pour toutes les stations centrales, le rapport atteint des valeurs qui ne sont pas au-dessous de 0,01 et variables jusqu'à 0,048. Nous citerons en particulier les villes de Cassel (0,04), Mulhouse (0,045) et Stettin (0,048). Ces chiffres sont empruntés à l'étude complète que l'*Industrie électrique* a publiée le 10 juin 1894 sur les stations centrales en Allemagne d'après le rapport de la Commission de statistique de l'*Elektrotechnische Verein* de Berlin. La station centrale de Bockenheim, à courants triphasés et à courants continus, alimente pendant la journée diverses fabriques ; le rapport atteint 0,5.

Il nous faut citer particulièrement les stations de Chemnitz et de Pforzheim, où la distribution d'énergie électri-

que a été faite en grande partie pour alimenter des moteurs de tous genres destinés à la bijouterie. Le rapport atteint respectivement des valeurs de 0,085 et 0,366. En Autriche-Hongrie, nous trouvons aussi des stations centrales ayant pour le rapport $\frac{B}{A}$ des valeurs de 0,29 et 0,272. En Suisse, la ville de Chur a une station centrale qui dessert dans un moulin un moteur de 73,6 kw; le rapport a une valeur de 0,486. Dans cette région, les statistiques accusent une puissance totale de 13954 kw pour les stations centrales, dont 800 kw pour la force motrice.

M. le Dr Passavant, dans une intéressante conférence faite le 27 mars 1894, devant la *Société électrotechnique* de Berlin, a établi qu'à cette époque le nombre des

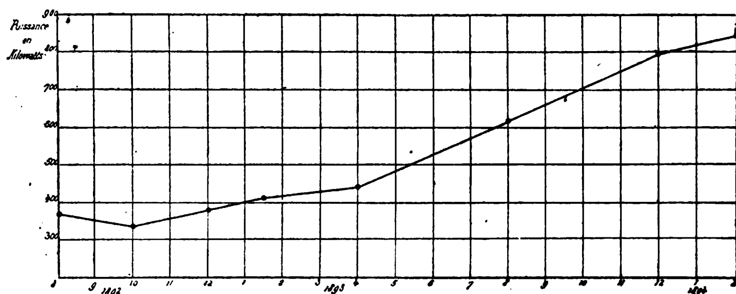


Fig. 4. — Puissance en kw des moteurs installés à Berlin pour chaque mois des années 1892, 1893 et 1894.

moteurs électriques dans les stations centrales de la *Société berlinoise d'électricité* était de 358, d'une puissance totale de 846 kw. Ces chiffres sont portés dans notre tableau et nous donnent un rapport d'utilisation de force motrice de 0,089. Le Dr Passavant a également donné une courbe que nous reproduisons (Fig. 4) et qui indique

la puissance totale des moteurs pour les divers mois des années 1892, 1893 et 1894 (mars). Au mois d'août 1892, la puissance totale était de 368 kw, au mois d'octobre elle n'était que de 338 kw. Cette époque était l'époque d'hésitation; les abonnés voulaient essayer, se rendre compte. Il s'ensuivait une période de tâtonnement. Mais à partir de ce moment nous voyons la courbe prendre une ascension graduellement croissante et atteindre 400 kw en janvier 1893, 441 kw en avril 1893, 619 kw en août 1893, 795 kw en décembre 1893 et 846 kw en février 1894.

L'Amérique utilise dans tous les ateliers et chez la plupart des abonnés aux stations centrales un très grand nombre de moteurs de tous genres et de toutes puissances; ceux de nos compatriotes qui sont allés à l'exposition de Chicago en 1893 ont pu le constater. Mais les statistiques sont à ce sujet d'une grande brièveté; elles accusent pour New-York une consommation d'énergie électrique pour force motrice représentant environ 20 pour 100 de la consommation totale. Dans l'Etat de Massachusetts au mois de juin 1893, il existait environ 78 compagnies distribuant pour force motrice une puissance de 5035 kw. 9 de ces compagnies distribuaient 4117 kw, et les 69 autres 918 kw. De même les stations centrales existent en grand nombre; mais il nous a été impossible d'avoir quelques renseignements précis.

2° *Répartition des puissances consommées suivant les abonnés.*

Nous avons pu nous procurer, grâce à l'obligeance des ingénieurs des secteurs parisiens, quelques renseignements assez complets sur la répartition des puissances

consommées pour force motrice entre les divers abonnés; le tableau ci-dessous donne cette répartition détaillée. On remarquera que l'utilisation est différente suivant les quartiers; dans le secteur de Clichy, ce sont les ascenseurs qui dominent; dans le secteur de la Société d'éclairage et de force par l'électricité, ce sont plutôt les machines-outils.

Répartition des puissances consommées pour force motrice sur les divers secteurs à Paris (octobre 1894).

	EMPLOI de la FORCE MOTRICE	NOMBRE de moteurs	PUISSANCE utile en kw	DIFFÉRENCE de potentiel en volts
Secteur de Clichy.	Ascenseurs. . . .	15 dans immeubles divers.	2,9	440
	Monte-charges . .	1	1,8	440
	Moteurs pour transmissions d'atelier .	1	36,8	440
	—	1	4,4	440
	Broyeur à café. . .	1	0,368	440
	Hachoirs à viande .	1	0,956	440
	—	1	0,368	440
	—	1	0,736	440
	Atelier d'imprimeur .	1	1,8	440
	Moteur pour pâtissier	1	2,208	440
	Moteur pour ventilateurs	1	2,208	440
	Moteurs pour appareils médicaux. .	1	2,208	440
	—	3	0,046	440
	Divers.	2	0,185	440
	—	1	0,150	440
	TOTAL . . .	32	98,010	

	EMPLOI de la FORCE MOTRICE	NOMBRE de moteurs.	PUISSANCE utile en kw	DIFFÉRENCE de potentiel en volts
Société d'éclairage et de force par l'électricité.	Ascenseurs. . . .	1	7,36	110
	—	1	4,42	110
	Monte-charges. . .	1	5,52	110
	—	1	5,88	110
	—	1	6,62	110
	—	1	2,94	110
	Scierie de menuisier.	1	2,21	110
	Moteurs pour machines à chaussures.	1	0,736	110
	—	1	0,050	110
	Ventilateurs . . .	1	5,520	110
	Machines à coudre .	1	0,736	110
	Fabrication d'instruments de musique.	1	0,368	110
	—	1	1,472	110
	Hachoirs à viande .	1	0,736	110
	Machines à imprimer.	1	7,360	110
	—	1	3,680	110
	—	2	2,208	110
	Machines à corroyer les peaux . . .	1	2,208	110
	Machines à découper le carton pour boîtes.	1	0,736	110
	Fabrication de dynamos	1	1,472	110
	Hache-paille, fourrages et grains . .		3,680	110
		1	1,472	110
	Fabrication d'appareils d'optique . .	1	1,472	110
	Fabrication de glaces.	1	8,096	110
	Fabrication de machines à coudre les chaussures . . .	1	1,472	110
	Machines pour équipements militaires.	1	2,208	110
	TOTAL. . .	26	80,632	

	EMPLOI de la FORCE MOTRICE	NOMBRE de moteurs	PUISSANCE utile en kw	DIFFÉRENCE de potentiel en volts
Cie Continentale Edison. . . .	Ascenseur	1	2,208	110
	Ventilateurs . . .	2	0,736	110
	—	1	0,030	110
	—	1	2,944	110
	—	2	0,500	110
	—	1	0,368	110
	Machines à imprimer.	1	1,472	110
	Hachoirs à viande .	2	0,368	110
	Moteurs pour transmissions d'atelier .	1	0,245	110
		1	3,680	110
	Moteurs pour appareils médicaux . .	1	0,245	110
	Moteur pour dentiste.	1	0,030	110
	Moteur pour brosse à cheveux	1	0,368	110
	Divers	1	1,472	110
	TOTAL. . .	17	16,268	
Section des Champs-Elysées (courants alternatifs) . .	Ascenseurs pour voitures	1	4,416	110
	—	1	0,736	110
	Moteurs pour actionner dynamo chargeant des accumulateurs (usages médicaux) . . .	1	0,736	110
		1	0,185	110
	Moteur pour machines-outils . . .	1	4,416	110
	TOTAL. . .	5	10,489	
Cie parisienne de l'air comprimé (1)	Ascenseur	1	2,75	440
	Divers	»	7,36	440
	TOTAL . .	1	10,11	

(1) La Cie n'installe pas de moteurs électriques; elle préfère placer des moteurs a air comprimé.

	EMPLOI de la FORCE MOTRICE	NOMBRE de moteurs	PUISSANCE utile en kw	DIFFÉRENCE de potentiel en volts
Réseau municipal des Halles.	Machines à imprimer.	1	0,240	110 continus.
	Machines-outils	1	0,500	110 —
	Machines à coudre	1	0,050	110 —
	Appareils médicaux (courants alternatifs)	1	0,100	110 alternatifs
	TOTAL.	4	0,890	

Pour Berlin, M. le Dr Passavant a établi la répartition suivante :

Ascenseurs et monte-charges	64	moteurs d'une puis. tot. de	272	kw
Ventilation	103	— —	95	—
Imprimerie et fabrication de papier	78	— —	211	—
Industrie des métaux	24	— —	78	—
Industrie du bois et du cuir	6	— —	22	—
Usages dans la boucherie	10	— —	30	—
Blanchisserie, filature, fabrication de toile	35	— —	69	—
Divers	38	— —	70	—
	358	— —	847	kw

A Pforzheim, en avril 1894, 425 moteurs d'une puis-

sance totale de 71 kw étaient répartis de la façon suivante :

308	d'une puissance de	50	watts pour	moteurs à polir.
7	—	73	—	ventilateurs et machines à tailler.
4	—	150	—	machines à métaux.
18	—	184	—	machines à dorer, à percer, etc.
16	—	245	—	bancs à étirer.
4	—	276	—	tables à polir.
18	—	368	—	bancs à métaux.
11	—	552	—	machines à couper.
33	—	736	—	machines diverses.
6	—	1472	—	moulins, tamis, etc.
425		71000		

3° *Consommations d'énergie électrique pour force motrice.*

Pour les stations parisiennes les données relatives à la consommation d'énergie électrique pour force motrice font totalement défaut. Nous avons pu seulement recueillir quelques chiffres pour les stations centrales d'Allemagne ; ils sont intéressants à connaître.

M. le Dr Passavant a publié les chiffres suivants : pendant l'année 1892-1893, l'énergie électrique fournie pour force motrice par les stations centrales de Berlin a été de 238 000 kwh ; pour l'année 1893-1894, la fourniture pour le même usage a été estimée à 550 000-600 000 kwh. Il fait remarquer à ce sujet que cette production est souvent la production totale d'une année pour une station centrale de province ; il cite la station de Hambourg, qui, en 1892-1893, a produit 513 000 kilowatts-

heure. Pour l'année 1892-1893, la production totale d'énergie électrique avait été de 5 250 176 kwh ; l'énergie consommée par les moteurs, alors au nombre de 232 d'une puissance totale de 578 kw, représentait donc environ 4,5 pour 100 de l'énergie totale.

Les consommations successives par mois d'énergie électrique pour force motrice chez les abonnés des stations de la *Société Berlinoise* sont indiquées dans la courbe ci-jointe (Fig. 5).

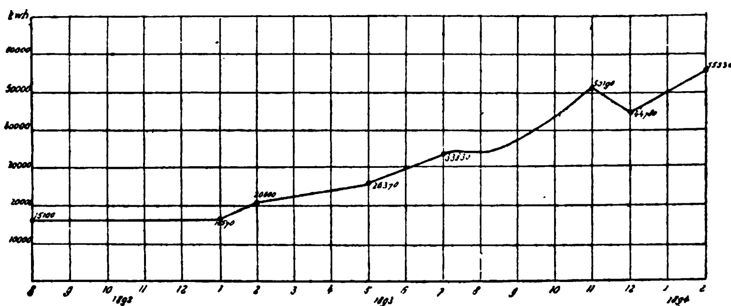


Fig. 5. — Consommation d'énergie électrique (kwh) pour force motrice à Berlin en 1892, 1893 et 1894.

Dans les statistiques des stations centrales d'Allemagne nous avons pu également trouver quelques chiffres intéressants pour l'année mars 1893-mars 1894. Ce sont les suivants :

	Consommation totale kwh	Consommation pour force motrice kwh	Energie consommée pour force motrice en p. 100 de l'énergie totale consommée.
Barmen. . .	122 025	1911	1,56
Breslau. . .	400 876	4228	1,05
Cassel . . .	107 529	4899	4,55
Dessau . . .	49 869	1090	2,18
Elberfeld . .	336 372	5921	1,76
Hanovre . .	365 113	3919	1,07
Mulhouse . .	136 037	10912	8,02

On voit que, pour quelques stations, Cassel et Mulhouse, la consommation d'énergie électrique pour force motrice peut atteindre une certaine importance.

4° *Prix de vente.*

Les prix de vente de l'énergie électrique pour force motrice sont très variables. A Paris le prix fixé par le cahier des charges est de 0,61 fr le kwh ; mais des rabais plus ou moins élevés sont accordés suivant les applications et les durées d'utilisation.

La Société Toulousaine d'électricité demande une somme de 500 fr pour le cheval-an à raison de dix heures de marche par jour ; ce qui revient à 0,18 fr le kwh utile disponible.

Le tableau de la page 40 donne quelques prix pour l'Allemagne, prix qui varient de 2,5 à 11,2 centimes le kwh ; en Suisse, pour des puissances élevées, le prix descend à 0,088 fr.

Dans la ville d'Erding, les prix sont les suivants :

Moteur de	250	watts	62,5	fr par an	
—	368	—	87,5	—	
—	736	—	162,5	—	
—	1,10	kw	237,5	—	
—	1,470	—	300	—	
—	2,208	—	412,5	—	
—	2,944	—	500	—	
—	3,680	—	600	—	

La station centrale de Trente demande 42,5 fr par cheval-an.

5° *Durées d'utilisation.*

Les durées d'utilisation des moteurs n'ont pas été observées en général ; aussi avons-nous trouvé fort peu de renseignements, et nous sommes obligés d'emprunter toujours nos chiffres à la conférence de M. le Dr Passavant, conférence remarquable par le nombre de données pratiques qu'elle renferme. M. le Dr Passavant a observé que les durées d'utilisation sont très variables suivant les mois ; il a déduit les chiffres suivants des consommations relevées, en supposant les moteurs à pleine charge.

Ces renseignements, intéressants certainement, ne répondent cependant pas au désir légitime que nous aurions de connaître pour les moteurs les périodes relatives de marche à charges différentes ; ces observations devraient être faites en particulier sur chaque moteur.

M. le Dr Passavant a trouvé pour les divers moteurs :

En octobre	1892	une durée d'utilisation	moyenne	de	1,25 h.
En décembre	1892	—	—	—	1,15 —
En mars	1893	—	—	—	1,32 —
En mai	1893	—	—	—	1,43 —
En juin	1893	—	—	—	1,60 —
En octobre	1893	—	—	—	1,53 —
En novembre	1893	—	—	—	1,86 —
En décembre	1893	—	—	—	1,60 —
En février	1894	—	—	—	1,92 —

On peut aussi comparer le nombre d'heures annuel d'éclairage au nombre d'heures annuel de consommation pour force motrice. Nous avons pu établir le petit tableau

suivant, toujours pour les stations centrales d'Allemagne.

	Nombre d'heures annuel		Différence en faveur de l'éclairage	
	éclairage.	force motrice.	réelle.	en pour 100.
Barmen. . .	302	203	99	32,7
Breslau . .	498	268	230	46,1
Cassel . . .	397	445	—48	—12,1
Dessau . . .	367	237	130	35,2
Düsseldorf. .	392	87	305	77,7
Hanovre . .	494	165	329	66,5
Copenhague .	424	66	359	84,6
Mulhouse . .	270	472	—202	—74,8

On voit que dans quelques villes les durées d'utilisation de la puissance électrique pour force motrice peuvent être plus importantes que pour l'éclairage.

Ce paragraphe est à tous points de vue bien incomplet et bien restreint ; nous avons tenu cependant à le faire figurer pour montrer par des chiffres peu nombreux tout l'intérêt qu'il y aurait pour les stations centrales à établir dorénavant ces données dans leurs comptes-rendus. On peut en tirer des conclusions qui peuvent être avantageusement utilisées. Ce sera donc dans l'avenir une donnée de plus à ajouter pour établir les bilans des stations centrales.

CHAPITRE II

DONNÉES GÉNÉRALES SUR LES MOTEURS ÉLECTRIQUES ET LEUR FONCTIONNEMENT

PROGRAMME GÉNÉRAL

Avant d'étudier les applications des moteurs électriques, il est indispensable de connaître leur nature, de savoir sur quels principes ils sont basés, quelles sont leurs conditions théoriques et pratiques de meilleur fonctionnement, ainsi que leurs conditions d'installation et d'exploitation.

Nous avons réuni dans ce chapitre toutes les données et renseignements théoriques et pratiques, et nous examinerons successivement :

A. **Définition générale des moteurs, Classification** ; B. **Etude des moteurs à courants continus**; C. **Etude des moteurs à courants alternatifs simples**; D. **Etude des moteurs à courants alternatifs polyphasés**; E. **Conditions d'installation**; F. **Conditions d'exploitation et d'entretien.**

A. Définition générale des moteurs électriques. Classification.

Un moteur électrique est une machine dynamo qui reçoit de l'énergie électrique et qui se met en mouvement en restituant de l'énergie mécanique sur son arbre.

Il n'est donc en réalité qu'une application de la *réversibilité* de la machine dynamo. Une dynamo recevant de l'énergie mécanique sur son arbre à l'aide de courroies, de cordes ou d'engrenages se met en mouvement, entraîne une armature dans un champ magnétique et fournit de l'énergie électrique dans le circuit extérieur. Les conditions de fonctionnement d'une dynamo comme génératrice et comme moteur ne sont pas sensiblement les mêmes; nous allons les étudier dans ce qui va suivre.

Les moteurs électriques peuvent être divisés en deux grandes classes, suivant la nature du courant qui les fait fonctionner : moteurs à courants continus, moteurs à courants alternatifs. Ces derniers comprennent également deux autres classes : moteurs à courants alternatifs simples et à courants alternatifs polyphasés. Nous verrons aussi qu'il est nécessaire, en étudiant ces divers genres de moteurs, d'établir des différences en ce qui concerne les champs inducteurs. Nous ferons donc trois grandes divisions dans notre étude :

Moteurs à courants continus
— — alternatifs simples
— — — polyphasés

B. Etude des moteurs à courants continus.

Les moteurs peuvent être à intensité constante ou à différence de potentiel constante; les premiers n'ont pas reçu jusqu'ici de grandes applications; nous ne nous occuperons donc que des seconds.

1° *Théorie.*

α. Généralités.

Considérons (Fig. 6) dans un champ magnétique formé par les pôles N et S, avec auto-excitation ou excitation séparée, un anneau Gramme, dont nous représentons une bobine C. Envoyons par les conducteurs A, B un courant d'un certain sens. Ce courant traversera les balais D, D, et par le collecteur E et les bobines successives arrivera à la bobine C. Nous verrons aussitôt l'armature se déplacer dans un sens déterminé.

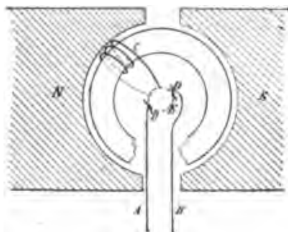


Fig. 6. — Schéma d'un moteur. Coupe des inducteurs NS, d'une bobine C et du collecteur E.

Ce mouvement a lieu en vertu de lois découvertes par Ampère et Maxwell et que l'on peut énoncer de la façon suivante : *Si on place un conducteur mobile traversé par un courant dans un champ magnétique, ce conducteur se met en mouvement.*

Faraday avait déjà démontré que si l'on faisait déplacer un circuit fermé dans un champ magnétique, ce circuit était le siège d'un courant. Ce dernier principe est la base des machines génératrices.

En associant les deux règles d'Ampère et de Faraday, le physicien Lenz en a déduit la règle suivante : *un conducteur mobile dans un champ magnétique et traversé par un courant se met en mouvement dans un sens inverse du mouvement qu'il faudrait lui donner pour produire un courant de même sens, pour un même sens du champ magnétique.*

Toutes ces lois peuvent être résumées dans les expressions suivantes :

Deux flux de force en présence agissent dans une direction telle que le flux de force résultant soit maximum.

Lorsqu'un courant est induit par une variation de flux de force, le sens de ce courant est tel qu'il s'oppose à chaque instant à la variation par le flux qu'il produit lui-même.

Nous n'insisterons pas du reste sur toutes ces lois déjà bien connues et expliquées dans tous les traités; nous les mentionnons simplement pour expliquer les faits désignés plus haut.

β. Force contre-électromotrice.

Revenons à l'expérience dont il a été question. Lorsque nous avons fait passer un courant dans l'armature placée dans un champ magnétique, elle s'est mise en

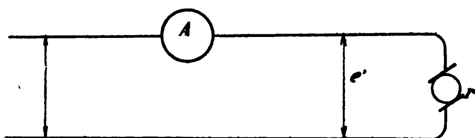


Fig. 7. — Schéma de l'installation d'un ampèremètre dans le circuit d'un moteur.

mouvement; nous verrons plus loin dans quel sens. Un ampèremètre A (Fig. 7) placé en circuit nous a indiqué que l'intensité avait au début une certaine valeur quand le moteur était arrêté; l'intensité a diminué peu à peu à mesure que le moteur s'est mis en marche et a fini par atteindre une valeur de régime. Ce fait est dû à ce que le moteur en fonctionnant produit dans le circuit une

force contre-électromotrice e' qui est de sens inverse à la différence de potentiel U_d établie aux bornes.

L'intensité I a alors pour expression :

$$I = \frac{U_d - e'}{R + r}$$

I ampères,
U_d Différence de potentiel de la distribution en volts,
e' force contre-électromotrice en volts,
R résistance totale de la ligne en ohms,
r résistance totale intérieure du moteur en ohms.

Dans cette formule, la différence de potentiel U_d est fournie par la distribution, R et r restent constantes dans les limites d'un échauffement normal. La force contre-électromotrice e' dépend de l'intensité du champ magnétique et de la vitesse angulaire du moteur. Au départ, quand on ferme le circuit, e' est nulle, l'intensité atteint une valeur élevée ; mais le moteur se met en marche et développe une force contre-électromotrice d'autant plus grande que la vitesse angulaire est elle-même plus élevée.

On peut mettre en évidence d'une façon plus marquée le rôle de la force contre-électromotrice et sa relation avec la vitesse angulaire.

Dans l'expérience précédente, quand nous avons fourni aux bornes du moteur une puissance électrique, l'appareil s'est mis en mouvement. Nous avons donc eu d'une part un couple moteur appliqué sur l'arbre et d'autre part un couple résistant. Il serait facile d'établir des formules dans lesquelles interviendraient les expressions de ces couples.

Considérons maintenant d'autre part un moteur-série, nous avons (Fig. 8).

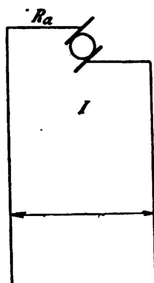


Fig. 8. — Schéma d'un moteur-série.

$$e' = U_b - R_a I$$

e' f. contre-électromotrice

U_b différence de potentiel aux bornes du moteur.

R_a résistance intérieure

I intensité du courant

Il vient également pour la force contre-électromotrice d'induction.

$$e' = 2\,N\,\omega\,\mathfrak{B}_a\,S_a\,10^{-8} \text{ volts}$$

N nombre de spires total de l'anneau

ω vitesse angulaire exprimée en nombre de tours par seconde.

$\mathfrak{B}_a$ induction magnétique dans le fer de l'anneau (en unités C. G. S.).

S_a section transversale du fer de l'anneau en cm².

Nous tirons de ces deux équations

$$e' = 2\,N\,\omega\,\mathfrak{B}_a\,S_a\,10^{-8} = U_b - R_a I$$

qui nous permet, pour un moteur déterminé et en supposant les pertes nulles, de trouver les valeurs de la vitesse angulaire ω :

$$\omega = \frac{U_b - R_a I}{2\,N\,\mathfrak{B}_a\,S_a\,10^{-8}}.$$

Dans le cas d'un moteur en dérivation (shunt) l'expression reste la même, mais I ne désigne plus l'inten-

sité totale ; il désigne seulement l'intensité traversant l'anneau. Pour un moteur compound, il faut tenir compte à la fois des deux valeurs précédentes.

Cette expression nous permet de nous rendre compte dès maintenant des variations de vitesse angulaire qui peuvent se produire dans les différents moteurs.

Dans un moteur-série, si nous diminuons la charge, l'intensité I va diminuer puisque la force contre-électromotrice augmentera. Le terme $U_b - R_a I$ augmentera sensiblement; mais en même temps l'induction $\mathfrak{B}_a$ diminuera. La vitesse angulaire ω tend donc à augmenter dans de grandes proportions.

Pour le moteur-shunt, l'intensité de l'anneau I_1 diminuera également, si la charge diminue. Mais le flux $\mathfrak{B}_a S_a$ restera sensiblement constant, si l'on ne fait pas varier la résistance du circuit d'excitation. La seule variation que subira le flux résultera en effet des réactions d'induit. Les deux termes de l'équation varieront donc en même temps, et sensiblement dans le même rapport. L'expérience nous apprendra en effet que pour un moteur-shunt, dont l'excitation reste la même, la vitesse angulaire restera sensiblement constante, quelle que soit la charge.

Pour les moteurs compound, les résultats seront différents suivant qu'on aura recours à un enroulement différentiel ou concourant, pour donner la prépondérance soit à l'enroulement *série* soit à l'enroulement *shunt*.

γ. Auto-excitation. Série. Shunt. Compound.

Nous avons considéré jusqu'ici un champ magnétique formé en quelque sorte par une excitation séparée ; mais il importe de voir ce qu'il arrive avec l'*auto-excitation*.

Comme une machine génératrice, un moteur peut être excité en *série*, *shunt*, *compound*.

En appelant R_i la résistance des inducteurs-série, R_a la résistance intérieure de l'armature, R la résistance de la canalisation, R_s la résistance des inducteurs shunt, (Fig. 9, 10 et 11), nous avons pour les valeurs de l'intensité dans les trois cas les formules suivantes :

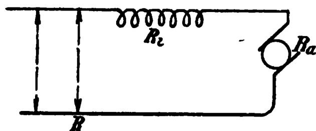


Fig. 9. — Moteur série ; R_i résistance des inducteurs.

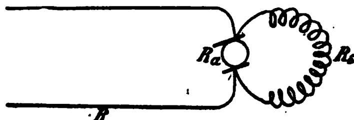


Fig. 10. — Schéma d'un moteur shunt.

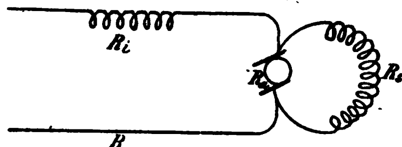


Fig. 11. — Schéma d'un moteur Compound.

$$I = \frac{U_d - e'}{R + R_i + R_a}; \quad I = \frac{U_d - e'}{R + \dfrac{R_a\,R_s}{R_a + R_s}}; \quad I = \frac{U_d - e'}{R + R_i + \dfrac{R_a\,R_s}{R_a + R_s}}.$$

On voit que l'intensité I, pour une même valeur de la différence de potentiel U_d et de la force contre-électromotrice e' varie avec les résistances R_i et R_s, R_a et R restant constantes. Nous utiliserons ce fait quand nous parlerons des dispositions adoptées pour les divers réglages.

8. Sens de rotation d'un moteur.

Il importe maintenant de nous rendre compte du sens de rotation d'un moteur. En appliquant la loi de Lenz,

dont nous avons parlé plus haut, on arrive aux conclusions suivantes.

Quel que soit le sens du courant qui lui est fourni, un moteur-série tourne en sens inverse du mouvement qu'on doit lui donner comme génératrice, pour obtenir un courant de même sens. En effet si nous envoyons un courant dans la direction de la flèche 1 (Fig. 12), l'induit est traversé dans le même sens. Mais si nous changeons le sens du courant, il est changé à la fois dans les inducteurs et dans l'induit (Fig. 13). On peut cependant avoir besoin dans certaines applications de

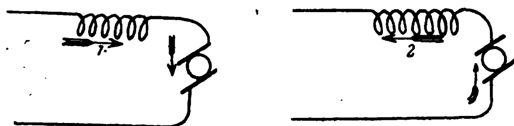


Fig. 12 et 13. — Schémas de rotation d'un moteur série.

changer le sens de marche d'un moteur; nous en parlerons plus loin.

Un moteur-shunt tourne dans le même sens que quand il fonctionne comme génératrice, quel que soit le sens du courant. Soit en effet (Fig. 14) une génératrice tournant dans le sens de la flèche *d* et produisant un courant de sens *c* dans le circuit extérieur. Le courant a le sens *a* dans l'induit et le sens *b* dans les inducteurs. Si nous envoyons dans cette même machine fonctionnant comme moteur un courant de même sens que plus haut *h*, *h*, ce courant conservera son même sens *i* dans l'induit et suivra le sens *j* dans les inducteurs. Si nous changeons le sens

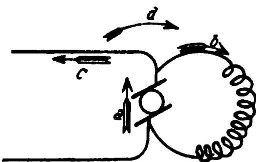


Fig. 14. — Sens de rotation d'un moteur shunt.

du courant dans le circuit extérieur, le sens sera suivant la flèche *f* dans l'induit et suivant la flèche *g* dans l'inducteur (Fig. 15 et 16).

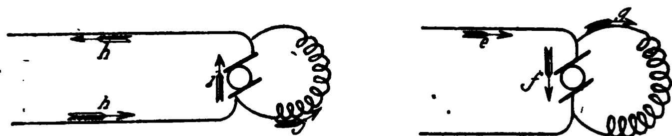


Fig. 15 et 16. — Sens de rotation d'un moteur shunt.

Dans un moteur compound, les excitations shunt et série agissent en sens inverse l'une de l'autre; dans la machine génératrice elles agissaient au contraire dans le même sens. Suivant donc que l'une ou l'autre excitation sera prépondérante, le moteur tournera dans un sens ou dans un autre. Nous verrons aussi dans un chapitre suivant une nouvelle disposition qui consiste à faire agir les deux excitations dans le même sens pour obtenir le réglage du moteur.

D'après ce qui précède, il sera facile de changer le sens de rotation d'un moteur shunt, série ou compound en changeant le sens du courant ou dans l'inducteur ou dans l'induit.

ε. Avantages respectifs des moteurs série, shunt, compound.

Les avantages des moteurs sont différents suivant leur nature et leur mode d'excitation. Le point essentiel qui nous sera utile dans la suite et qu'il convient d'examiner en particulier, ce sont les variations de vitesse sous charge variable.

Dans un moteur série, la vitesse est essentiellement variable avec la charge. Pour une faible charge, la vitesse

augmente dans des proportions considérables; elle diminue au contraire notablement quand la charge s'accroît. Ces moteurs sont donc capables de donner au démarrage un couple très élevé et il est besoin de prendre quelques précautions pour éviter une marche dangereuse pour le moteur lui-même. Ces précautions sont moins indispensables quand il s'agit de moteurs de faible puissance, dans lesquels les résistances passives sont relativement élevées.

Dans un moteur shunt alimenté par une différence de potentiel constante, l'intensité qui traverse les inducteurs reste constante. Au démarrage, le couple moteur est maximum, puis à mesure que la vitesse augmente ainsi que la force contre-électromotrice, il diminue peu à peu, mais dans des proportions beaucoup moindres que pour le moteur précédent. La vitesse angulaire reste donc sensiblement constante, quelle que soit la charge extérieure.

Le moteur compound à enroulements agissant dans le même sens permet d'obtenir une vitesse angulaire constante, lorsque la différence de potentiel de distribution n'est pas constante.

Le moteur compound à enroulements différentiels donne une solution complète du problème; mais il exige certaines précautions et dispositions pour son emploi.

ι. Calage des balais.

Dans une machine dynamo-génératrice il est nécessaire de déplacer le point de calage des balais sur le collecteur, afin de les poser exactement au maximum du flux de force qui se trouve reporté en avant par suite des réactions magnétiques. La position du maximum dépend

évidemment de chaque machine. Si une dynamo tourne dans le sens de la flèche F (fig. 17) les balais devront être calés sur le collecteur C aux points A et B.

Dans un moteur, le maximum du flux de force est reporté en arrière, le sens de rotation restant le même que pour la machine génératrice. Dans notre cas, les points de calage, pour la machine génératrice considérée, servant actuellement de moteur, seraient donc en A′ B′.

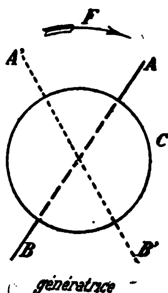


Fig. 17. — Calage des balais. Points théoriques.

Appliquons maintenant cette règle aux moteurs série, shunt et compound.

Le moteur série tournera en sens inverse suivant la flèche F′; les balais resteront à la même place A″ B″ où ils étaient quand la dynamo fonctionnait comme génératrice (Fig. 18).

Le moteur shunt tourne dans le même sens suivant la flèche F″. Les balais seront calés en A‴ B‴ (Fig. 19).

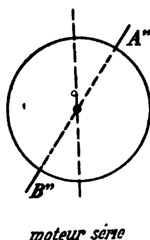


Fig. 18. — Calage des balais dans un moteur série.

Dans un moteur compound, les points de calage dépendront naturellement du sens de rotation que prendra le moteur suivant la prépondérance de l'enroulement série ou shunt.

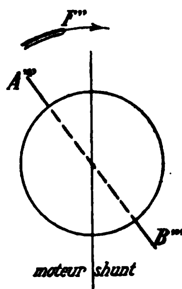


Fig. 19. — Calage des balais dans un moteur shunt.

). Rendement d'une génératrice et d'un moteur.

La puissance fournie sur l'arbre d'une dynamo n'est

pas transmise intégralement, et ne se retrouve pas entièrement après la transformation en puissance électrique. Il y a d'abord les pertes par les frottements (arbre dans les coussinets), les échauffements, les pertes en courants de Foucault par le déplacement des masses métalliques dans un champ magnétique, les pertes par hystérésis, les pertes par frottements des balais sur le collecteur. Soit donc P_t la puissance totale fournie à la génératrice sur l'arbre, si nous désignons par P_p la puissance perdue dont il a été question, nous aurons pour l'expression du rendement industriel.

$$\eta_i = \frac{P_t - P_p}{P_t}$$

Considérons maintenant un moteur; si la puissance utile qui lui est fournie aux bornes est égale à P_u, et si P_p désigne toutes les pertes désignées plus haut, l'expression reste la même pour le rendement industriel.

En pratique il y a lieu cependant de distinguer. Pour les moteurs et génératrices d'une puissance supérieure à 7 kilowatts, les pertes totales, qui n'atteignent pas 10 pour 100, sont presque les mêmes, et les rendements ne diffèrent pas sensiblement. Mais il n'en est pas de même dans les moteurs de faible puissance : l'expérience nous apprend que les réactions d'induit sont moins grandes que dans les générateurs, et on constate par là de grandes différences en faveur du moteur.

2° *Conditions de fonctionnement des moteurs.*

α. Formules. Courbes de fonctionnement.

Dans un moteur électrique, nous avons successivement à considérer : l'intensité, la force contre-électromo-

trice, la vitesse angulaire, la puissance électrique utile, la puissance électrique totale dépensée, la puissance électrique perdue, la puissance mécanique utile sur la poulie du moteur, le rendement électrique et le rendement industriel.

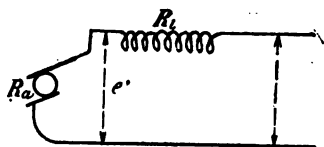


Fig. 20. — Diagramme d'un moteur série.

Nous allons rechercher les expressions de ces différents éléments pour les moteurs série, shunt et compound.

Pour un moteur série (Fig. 20), nous avons

$$I = \frac{U_d - e'}{R_a + R_i} \quad \text{intensité (ampères).}$$

U_d différence de potentiel de la distribution (volts).

$$\omega = \frac{U_b - R_a I}{2N \mathcal{B}_a S_a 10^{-8}} = \frac{e'}{2N \mathcal{B}_a S_a 10^{-8}}$$

e' force contre-électromotrice (volts).
ω vitesse angulaire (tours : minute).

U_b différence de potentiel aux bornes du moteur (volts).

$P_u = e' I = U_d I - (R_a + R_i) I^2$ puissance électrique utile (watts).

$P_t = U_d I = (U_b + R_i I) I$ puissance électrique totale (watts)

$P_p = P_t - P_u$ puissance électrique perdue (watts).

$P_m = e' I - p$ puissance mécanique utile sur la poulie.

p puissance perdue dans la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique.

$$\eta_e = \frac{e' I}{U_d I} = \frac{e'}{U_d} \quad \text{rendement électrique.}$$

$$\eta_i = \frac{P_m}{P_t} = \frac{e' I - p}{U_d I} \quad \text{rendement industriel.}$$

En recherchant les mêmes formules pour un moteur shunt, il vient (Fig. 21).

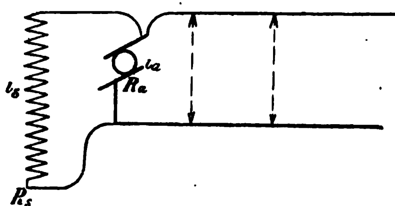


Fig. 21. — Diagramme d'un moteur shunt.

$I = i_a + i_s =$ intensité totale (ampères).

$i_a = \frac{U_d - e'}{R_a}$ intensité dans l'induit.

$i_s = \frac{U_d}{R_s}$ intensité dans le shunt.

$P_u = e' i_a = U_d I - (R_a i^2_a + R_s i^2_s)$ puissance électrique utile (watts).

$P_t = U_d I = U_d (i_a + i_s)$ puissance électrique totale (watts).

$P_p = R_a i^2_a + R_s i^2_s$ puissance électrique perdue (watts).

$P_m = e' i_a - p$ puissance mécanique utile sur la poulie.

$\eta_e \frac{P_u}{P_t} = \frac{e' i_a}{U_d I}$ rendement électrique.

$\eta_i = \frac{e' i_a - p}{U_d I}$ rendement industriel.

Dans un moteur compound (Fig. 22), nous pouvons écrire les mêmes expressions

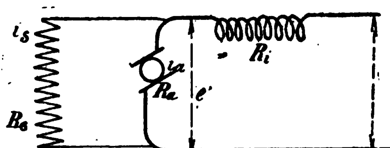


Fig. 22. — Diagramme d'un moteur Compound.

$$I = \frac{U_d - e'}{R_i + \frac{R_a R_s}{R_a + R_s}} = \text{intensité totale (ampères).}$$

Nous pouvons maintenant faire ici une remarque relative à la puissance utile.

Nous avons pour le *moteur-série* la puissance utile $e' I$ que nous pouvons écrire

$$e' I = U_d I - (R_a + R_i) I^2.$$

Prenons la dérivée par rapport à I afin de l'égaler à 0, et d'en déduire les conditions de puissance utile maxima, nous trouvons

$$U_d - (R_a + R_i) 2 I = 0,$$

d'où
$$I = \frac{U_d}{2 (R_a + R_i)}.$$

Le maximum de puissance électrique utile a lieu lorsque l'intensité est égale à la moitié de la valeur qu'elle a à l'arrêt du moteur.

A ce moment

$$I = \frac{U_d - e'}{R_a + R_i} = \frac{U_d}{2(R_a + R_i)}.$$

d'où

$$e' = \frac{U_d}{2}.$$

En faisant les mêmes opérations pour le moteur-shunt et pour le moteur compound, nous trouverions

$$e' i_a = U_d i_a - R_a i_a^2,$$

$$U_d - 2 R_a i_a = 0,$$

$$i_a = \frac{U_d}{2 R_a}.$$

Nous tirons de cette formule la conclusion suivante : la puissance électrique utile est maxima lorsque l'intensité dans l'induit atteint la moitié de la valeur qu'elle prend au moment où le moteur est arrêté.

Pour le moteur compound, nous pourrions établir des relations analogues en utilisant les diverses formules que nous avons trouvées pour les moteurs série et shunt.

Il importe maintenant de se rendre compte exactement des conditions de fonctionnement et de les discuter afin de trouver suivant les cas la solution la plus économique et la plus pratique.

En rassemblant de divers côtés les résultats d'expériences effectuées par différents auteurs et par nous-même, nous avons pu construire les courbes suivantes qui représentent le mode général de fonctionnement d'un moteur électrique à courants continus (série, shunt ou compound). A l'aide des renseignements obtenus, il a

été facile d'extrapoler, afin d'avoir des courbes complètes.

Deux sortes de courbes ont été construites, les unes en fonction de l'intensité, les autres en fonction de la vitesse angulaire. Ces deux sortes de courbes nous donneront des éléments d'étude différents.

Les courbes, dites *caractéristiques*, ont été construites pour un moteur série, shunt ou compound, en supposant la *différence de potentiel constante* aux bornes, et en faisant varier la charge. Nous allons discuter successivement tout ce qui se rapporte aux rendements, aux con-

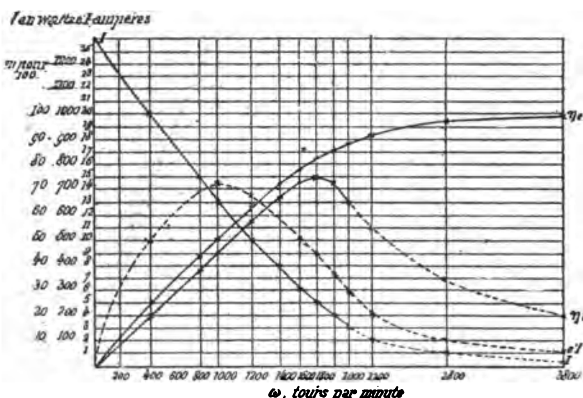


Fig. 23. — Courbes de fonctionnement d'un moteur-série en fonction de la vitesse angulaire.

ditions économiques de fonctionnement, aux variations de la vitesse angulaire, à divers éléments, et aux avantages respectifs des divers moteurs. Nous ferons tout d'abord quelques remarques générales sur les allures des courbes.

Dans les courbes du moteur-série (Fig. 23) construites en fonction de la vitesse angulaire, l'intensité décroît ra-

pidement, mais d'une façon régulière. La puissance utile P_u croît d'abord, passe par un maximum, puis décroît assez rapidement. Le rendement électrique η_e augmente jusqu'à une certaine valeur et à partir de ce point se rapproche de l'infini. Le rendement industriel η_i passe par un maximum et décroît ensuite. Nous allons discuter plus loin ces valeurs de rendement. Les courbes construites en fonction de l'intensité (Fig. 24) font res-

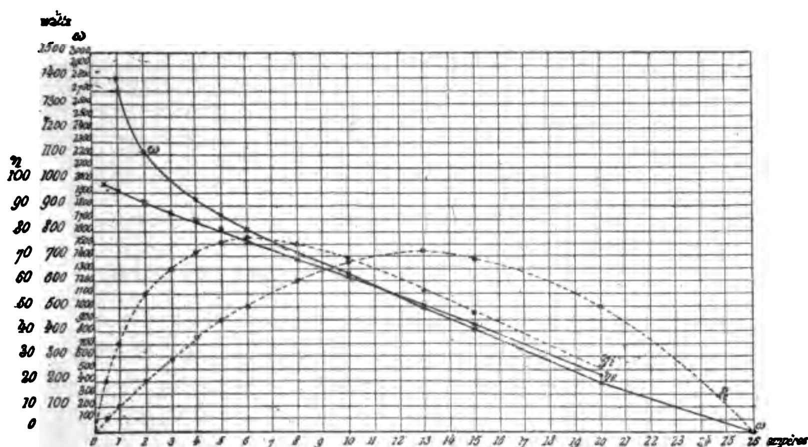


Fig. 24. — Caractéristique d'un moteur série en fonction de l'intensité.

sortir plus nettement encore les divers éléments dont nous venons de parler et nous montrent de plus les variations de la vitesse angulaire.

Les courbes des moteurs shunt n'ont été construites qu'en fonction de l'intensité, les variations de vitesse angulaire de ces moteurs ne dépassant pas en pratique 10 pour 100. On remarquera dans ces courbes que les

rendements électrique et industriel (Fig. 25) augmentent rapidement et se maintiennent à une valeur presque sensiblement constante pendant une partie de la courbe.

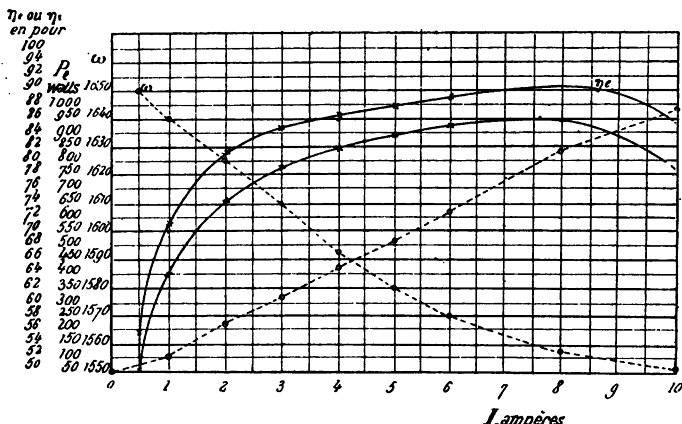


Fig. 25. — Caractéristique d'un moteur shunt en fonction de l'intensité.

La puissance utile P_u augmente régulièrement et semble atteindre son maximum vers la fin de la courbe.

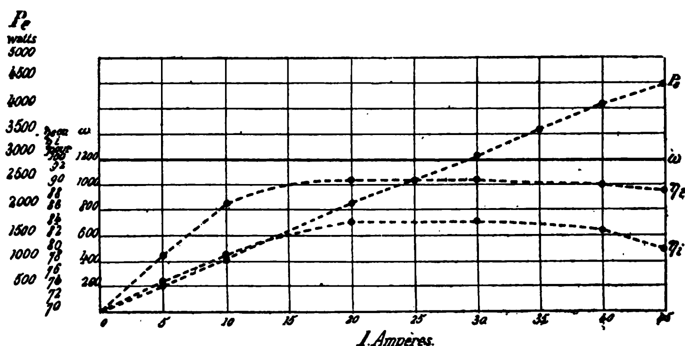


Fig. 26. — Caractéristique d'un moteur compound à enroulement différentiel.

Les courbes des moteurs compound *différentiels* et *concourants* présentent des formes analogues à celles que nous venons de voir (Fig. 26 et 27).

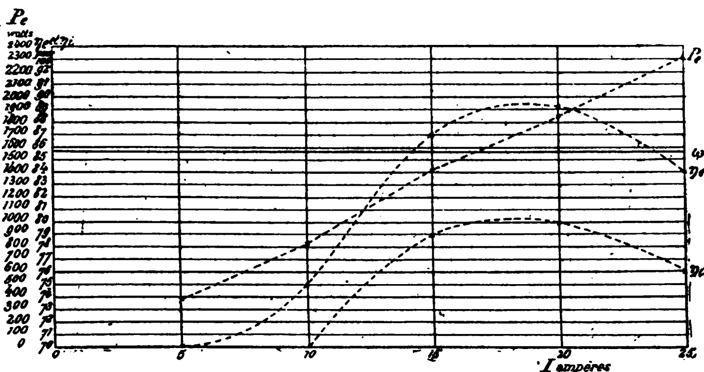


Fig. 27. — Caractéristique d'un moteur compound à enroulements concourants.

Nous étudierons maintenant en détail tout le fonctionnement pratique de ces moteurs.

β. Rendements électriques et industriels.

Dans tout ce qui précède nous avons trouvé pour les rendements électriques et industriels des courbes passant par des valeurs maxima. Il est évident que l'on doit toujours en pratique chercher à se rapprocher le plus possible de ces conditions; voyons dans quelles circonstances il est possible de le faire.

Pour le moteur série considéré, nous remarquons que la puissance utile électrique P_u passe par un maximum de 750 watts à la vitesse angulaire de 1000 tours par minute; l'intensité est à ce moment de 14 ampères. Avant

et après cette valeur, la puissance utile augmente et diminue respectivement. Mais le rendement électrique et le rendement industriel ne cessent d'augmenter. A 1000 tours par minute, le rendement électrique n'est que de 50 pour 100 (valeur théorique). Mais si nous dépassons cette vitesse angulaire, nous voyons que le rendement électrique η_e augmente constamment. Le rendement industriel η_i passe par un maximum de 75 pour 100 vers 1800 tours par minute. Mais à ce moment la puissance utile P_u du moteur n'est que de 450 watts. Nous nous trouvons dans d'excellentes conditions de rendement, mais de mauvaises conditions de puissance. Il est préférable de faire une moyenne et de marcher avec un rendement industriel moins élevé, mais avec une puissance supérieure; par exemple à 1450 tours par minute, avec une puissance utile de 600 watts et un rendement industriel de 66 pour 100. Nous nous plaçons ainsi dans la partie descendante de la courbe de la puissance utile. On peut facilement se rendre compte de ces éléments dans les deux figures dont il a été question.

Les courbes du moteur shunt présentent une allure différente de l'allure des courbes que nous venons d'examiner, en ce qui concerne les rendements électrique et industriel au moins pour le moteur que nous avons étudié. Ces deux facteurs prennent tout de suite une valeur assez élevée, 70 pour 100 (électrique) et 64 pour 100 (industriel), à 1 ampère. Ces valeurs augmentent toujours, d'abord rapidement, puis d'une façon peu sensible. Pour le moteur examiné (110 volts 10 ampères), la courbe présente un maximum vers 8 ampères. Les maxima des rendements et de la puissance électrique utile du moteur sont peu éloignés l'un de l'autre; ici nous marchons à

un rendement élevé, au moins à partir d'une valeur assez faible de la puissance utile.

Le moteur compound à enroulements concourants ne présente, au point de vue des rendements, qu'une partie de courbe réellement avantageuse, de 15 à 22 ampères dans le cas considéré. A ce moment la puissance utile n'est pas maxima, mais semble encore augmenter graduellement.

Le moteur compound à enroulement différentiel présente un rendement sensiblement constant entre des limites assez éloignées.

Ces deux dernières remarques ne s'appliquent évidemment qu'aux moteurs considérés; car d'après l'allure des courbes on peut juger que dans le premier cas (moteur à enroulements concourants) l'enroulement série est prépondérant, et dans le deuxième cas (moteur à enroulement différentiel), c'est au contraire l'enroulement shunt qui est le plus influent.

γ. Discussion des conditions économiques de fonctionnement.

Il n'est pas aisé d'indiquer exactement les conditions les plus économiques de fonctionnement; tout dépend évidemment du prix de l'énergie électrique.

Par exemple, avec le moteur série examiné précédemment, si l'énergie électrique est chère (c'est le cas à Paris), il sera préférable de marcher à puissance plus faible, mais à rendement plus élevé. La vitesse angulaire sera aussi plus élevée, et il y aura lieu d'avoir quelques dispositifs pour la faire varier à volonté. Si au contraire l'énergie électrique est à un prix peu élevé, il sera plus avantageux

de fonctionner à puissance plus élevée, et à un rendement inférieur.

Avec le moteur shunt se retrouvent les mêmes observations; elles ont cependant moins leur raison d'être, puisque les variations des valeurs du rendement sont beaucoup moindres dans une même étendue.

Dans le moteur compound à enroulements concourants, les rendements varient aussi avec la puissance utile et passent par des maxima. Les mêmes remarques s'appliquent encore.

Pour le moteur compound à enroulement différentiel, les rendements restent sensiblement constants à partir d'une limite inférieure. Ainsi dans le cas d'un moteur de 45 ampères, le rendement électrique varie de 87 pour 100 à 91 pour 100 de 10 à 20 ampères, et il reste entre 92 et 90 pour 100 jusqu'à 40 ampères, pour tomber à 89 pour 100 à 45 ampères. La puissance électrique utile est de 1000 watts à 10 ampères, 2100 à 20 ampères, 3100 à 30 ampères et 4500 à 45 ampères.

δ. Variations de la vitesse angulaire.

Un facteur important à considérer dans la marche d'un moteur est évidemment la vitesse angulaire. Certaines applications peuvent demander une vitesse constante avec des charges variables; d'autres au contraire peuvent exiger des vitesses variables pour des charges variables également. Nous trouvons des solutions pour ces divers problèmes en examinant les courbes que nous avons données plus haut.

Un moteur série, branché sur une différence de potentiel constante, d'une puissance utile maxima de 715

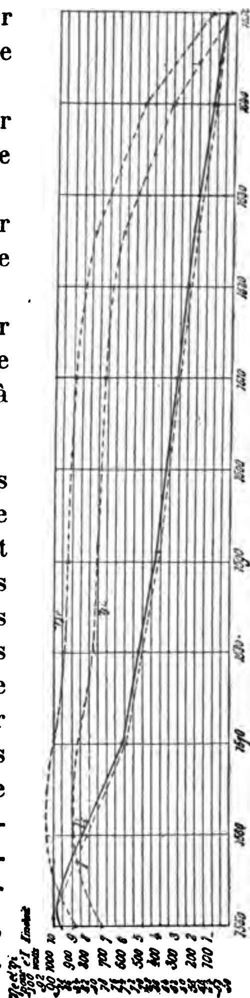
watts à la vitesse angulaire normale de 976 tours par minute accusait des variations de vitesse angulaire :

de 27 pour 100 en plus pour des variations de charge de 6,2 pour 100 en moins ;

de 81,3 pour 100 en plus pour des variations de charge de 36,3 pour 100 en moins ;

de 188 pour 100 en plus pour des variations de charge de 85 pour 100 en moins ;

de 281 pour 100 en plus pour des variations de charge de 92 pour 100 en moins (à vide).


Fig. 28. — Courbes de fonctionnement d'un moteur shunt en fonction de la vitesse angulaire.

Un moteur shunt dans les mêmes conditions offre des variations de vitesse beaucoup moins grandes, et qui en général ne dépassent pas 10 pour 100 ; et bien souvent les variations peuvent être attribuées à la variation de la différence de potentiel aux bornes. Un moteur shunt d'une puissance de 980 watts utiles à la vitesse angulaire de 1550 tours par minute n'a pas donné des variations de vitesse angulaire supérieures à 6 pour 100 pour une puissance utile de 55 watts, soit pour une marche à vide. (Fig. 28).

Les mêmes avantages se retrouvent encore plus accentués avec les moteurs compound. Si l'on consulte les courbes données précédemment, on peut voir que les moteurs à enroulements concourants ou à enroulement différentiel ont donné des vitesses angulaires constantes à 1 ou 2 pour 100 près, quelle que fût la charge. Mais avec une différence de potentiel constante aux bornes, l'avantage reste au moteur à enroulement différentiel. Le moteur à enroulements concourants a pour but de maintenir la vitesse angulaire constante, quelle que soit la charge extérieure, et malgré les variations de la différence de potentiel aux bornes.

ε. Eléments divers à considérer dans les moteurs.

Dans les courbes précédentes, nous nous sommes contentés d'examiner les conditions de fonctionnement de moteurs d'une puissance plutôt faible. Il est intéressant de se demander maintenant si les mêmes conditions subsistent ou s'améliorent à mesure que la puissance augmente.

Nous avons fait à ce sujet quelques recherches sur les éléments de fonctionnement d'un certain nombre de moteurs d'une même construction, et nous avons porté les résultats obtenus dans les courbes ci-jointes (Fig. 29). Les moteurs sont à deux pôles jusqu'à 8 kilowatts; au delà ils sont à quatre pôles. Nous avons porté en abscisses les puissances disponibles sur l'arbre exprimées en kwatts, et en ordonnées les valeurs des rendements électrique et industriel η_e et η_i. Nous avons recherché également s'il y avait une loi quelconque pour les vitesses angulaires, et si les proportions restaient les mêmes pour la masse totale par kw disponible.

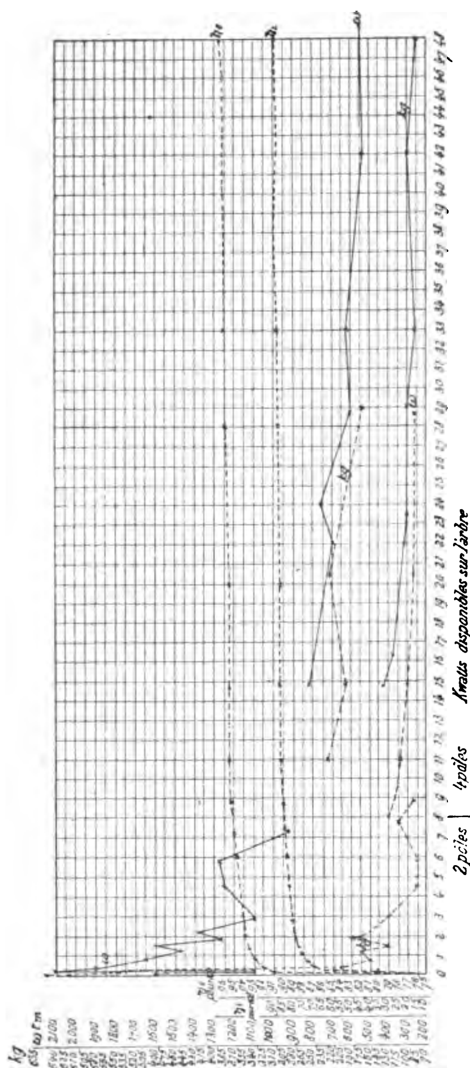


Fig. 29. — Courbes donnant les valeurs des rendements électrique et industriel, des vitesses angulaires et des masses par kw utile des divers modèles de moteurs électriques à 2, 4 ou *n* pôles, en fonction de la puissance utile disponible sur l'arbre du moteur.

5.

Le rendement électrique est d'abord très faible pour les moteurs de faible puissance; il ne dépasse pas 65 à 70 pour 100 pour des moteurs de 46 watts, mais il augmente bientôt et atteint 81 pour 100 pour 92 watts. Il monte ensuite rapidement et passe à 91 et 92 pour 100. A partir de ce moment, il n'augmente que peu rapidement, et nous arrivons à 64 kilowatts avec un rendement de 96,5 pour 100.

Le rendement industriel varie à peu près dans les mêmes proportions; cependant il augmente plus rapidement à partir d'une certaine puissance, et atteint 90 pour 100 dès 35 kilowatts.

La vitesse angulaire offre des variations curieuses jusqu'à 8 kilowatts; après cette puissance, elle semble être plus régulière. Pour les moteurs à quatre pôles, nous avons deux séries de vitesses angulaires, les vitesses lentes ne dépassant pas 250 à 400 tours par minute et les vitesses allant de 480 à 820 tours par minute.

Les variations de la masse totale par kw disponible sont très irrégulières, au moins pour les puissances jusqu'à 8 kilowatts (moteurs à deux pôles); la régularité est plus grande pour les moteurs à quatre pôles à partir de 8 kilowatts. Nous trouvons deux séries de courbes de 11 à 29 kilowatts.

Ce paragraphe n'a du reste d'autre but que de montrer que les moteurs de faible puissance ont un rendement encore assez élevé, quoique plus faible que le rendement des moteurs de puissance supérieure. Nous aurons l'occasion de citer plus loin quelques chiffres, quand nous parlerons des différents modèles de moteurs existants.

3° *Dispositions pour couplages, schémas et fonctionnement.*

D'après ce que nous avons dit dans les chapitres précédents, nous savons que si l'on ferme un circuit sur un moteur, celui-ci prend au départ une vitesse exagérée en même temps qu'une intensité très grande. Ces phénomènes sont surtout sensibles avec les moteurs série. Si nous avons soin d'introduire convenablement des résistances, nous pouvons opérer un bon réglage et ramener le moteur à une marche convenable.

Ces deux points résument toutes les dispositions à prendre pour le fonctionnement des moteurs. Nous allons les examiner et nous ajouterons quelques détails sur les changements de marche. Nous aurons donc à étudier successivement :

α. Démarrage et arrêt.
β. Réglages divers.
γ. Changements de marche.

α. Démarrage. — Conditions du démarrage.

Nous avons déjà vu précédemment les inconvénients du démarrage ou mise en marche d'un moteur. L'intensité peut atteindre à ce moment des valeurs considérables.

Si nous examinons un moteur série de 110 volts et 4 ampères, dont la résistance d'anneau $R_a = 0{,}5$ ohm, et dont la résistance des électros $R_i = 1{,}75$ ohm, nous aurons au départ une intensité de $\frac{110}{2{,}25} = 48$ ampères.

De même si nous observons un moteur shunt de 20

ampères et 110 volts, dont $R_a = 0{,}4$ et $R_s = 100$ ohms, nous aurons au départ une intensité de $\frac{110}{\frac{R_a\ R_s}{R_a + R_s}} = 276$ ampères.

On voit que l'intensité augmente dans des proportions très grandes. L'augmentation étant souvent supérieure à 10 pour 1, il est bien évident que les coupe-circuits fusibles des circuits fondront à chaque démarrage; il importait d'avoir recours à des artifices permettant d'éviter cet inconvénient.

Il y a lieu tout d'abord de distinguer si le démarrage doit se faire à vide ou sous charge.

Démarrage à vide.

L'artifice pour obtenir un bon démarrage à vide est bien simple. Introduisons dans le circuit (Fig. 30 et 31) d'un

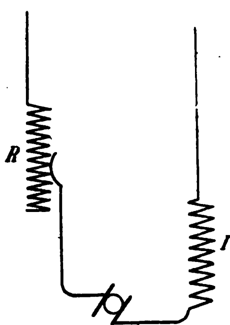


Fig. 30. — Résistance R intercalée dans le circuit d'un moteur série.

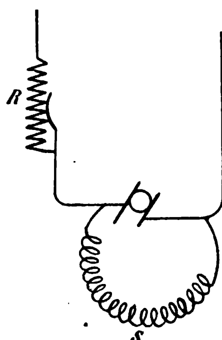


Fig. 31. — Résistance intercalée dans le circuit d'un moteur shunt.

moteur série ou shunt, une résistance R variable à volonté et suffisamment grande. Si au moment du démarrage, nous mettons une résistance de valeur convenable,

il est bien évident que l'intensité ne prendra pas alors une valeur très grande. Le moteur se mettra en route et nous pourrons diminuer cette résistance au fur et à mesure que la force contre-électromotrice se développera.

La seule précaution à prendre pour le démarrage est donc de mettre en circuit une résistance suffisamment grande. Un grand nombre de modèles de

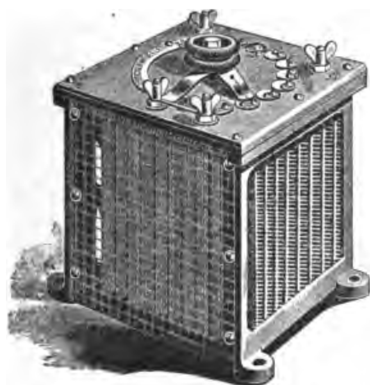


Fig. 32. — Modèle de rhéostat. Vue en perspective.

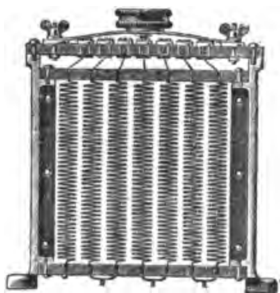


Fig. 33. — Modèle de rhéostat Vue en coupe.

rhéostats de ce genre ont déjà été construits par divers constructeurs. Les Figures 32, 33, 34 et 35 en donnent la représentation de quelques spécimens.

Nous voyons d'abord un modèle ordinaire de rhéostat à un grand nombre de touches en perspective et en coupe (Fig. 32 et 33).

Dans quelques cas on a eu recours aussi à des rhéostats à liquides. Une solution d'eau acidulée ou de carbonate de soude est contenue dans un vase. On fait plonger dans le liquide, plus ou moins, à l'aide d'une manivelle, une série d'électrodes en fer ou en tout

autre métal (Fig. 34). On adopte aussi d'autres dispositions sur lesquelles nous ne pouvons insister.

La Fig. 35 représente un rhéostat à longue tige, d'un maniement relativement facile. Le principe des rhéostats reste toujours le même,



Fig. 34. — Rhéostat à liquide.



Fig. 35. — Rhéostat à longue tige.

et il est aisé d'en imaginer un grand nombre de dispositions variables.

Un autre artifice consiste à faire varier, à l'aide d'un simple commutateur, le couplage des bobines des inducteurs dans le cas d'un moteur série. Nous citerons le dispositif du moteur Crocker-Wheeler représenté Fig.

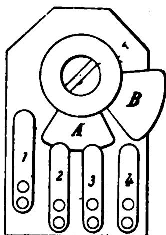


Fig. 36. — Couplage des bobines des inducteurs dans le moteur Crocker-Wheeler. Couplage en tension.

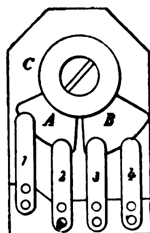


Fig. 37. — Moteur Crocker-Wheeler. Couplage en quantité.

36 et 37. On aperçoit les positions successives des secteurs A et B du commutateur, ainsi que la position de l'appareil sur le moteur. Les bobines des inducteurs sont successivement couplées en tension, puis en quantité par une manœuvre convenable.



Fig. 38. — Rhéostat à charbon de la Société Siemens et Halske.

En dehors des rhéostats ordinaires, nous mentionnerons le *rhéostat à charbon* construit par la Société Siemens et Halske de Berlin (Fig. 38). On peut donner à cet appareil le nom de *modérateur automatique d'intensité*. Il consiste essentiellement en une tige de fer attirée par un solénoïde placé dans le circuit du moteur. Cette tige de fer porte un charbon d'arc et peut être attirée par le solénoïde. Elle se déplace en regard d'un autre charbon relié également en circuit, de sorte, que lorsque le circuit est fermé, et au moment de cette fermeture, un arc jaillit entre les deux charbons. Mais aussitôt le noyau de fer est attiré, l'arc est rompu, ainsi que le circuit. Le noyau de fer retombe, et il en est ainsi jusqu'à un état d'équilibre pour une intensité donnée d'après le réglage du ressort. Cet appareil, d'un fonctionnement très simple, est donc en réalité un véritable régulateur de l'intensité.

On emploie aussi parfois des rhéostats de démarrage avec un dispositif automatique de sûreté. La figure 39 montre le modèle construit et adopté par la Compagnie

internationale d'Electricité de Liège. Si l'intensité dépasse une valeur déterminée dans le circuit principal, un

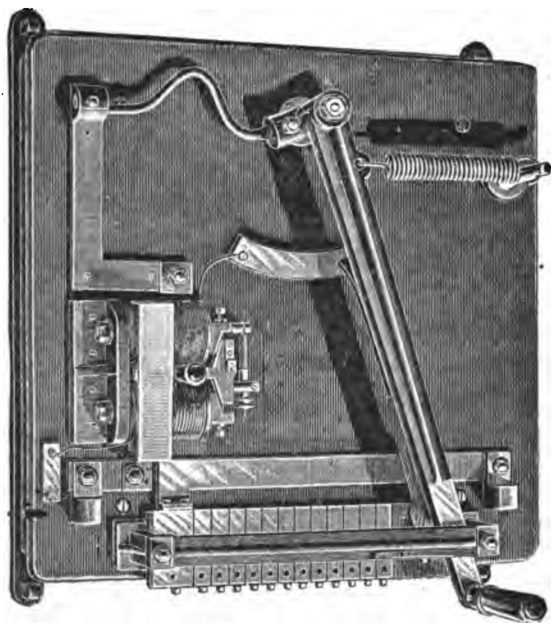


Fig. 39. — Rhéostat avec dispositif automatique de sûreté de la Cie internationale d'électricité.

électro-aimant déclenche l'interrupteur et celui-ci s'ouvre en intercalant dans le circuit un rhéostat d'une résistance déterminée. Cette disposition permet une manœuvre facile dans le cas où l'intensité reste normale, et au contraire évite des accidents si l'intensité dépasse la valeur normale.

Démarrage sous charge.

On peut avoir parfois besoin de faire démarrer un moteur sous charge. Avec le dispositif précédent, le

démarrage sera malaisé, parce que, dans la plupart des cas, l'intensité ne sera pas suffisante pour assurer un bon fonctionnement du rhéostat à charbon.

Dans ces cas-là, on a recours à un embrayage magnétique. Sur l'arbre du moteur est fixé un solénoïde A (Fig. 40) avec une face plane B située en regard d'un dis-

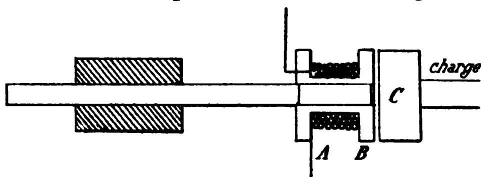


Fig. 40. — Embrayage magnétique pour moteur électrique.

que C monté sur l'arbre qui commande la machine à actionner. La puissance nécessaire pour exciter le solénoïde est empruntée au moteur par une dérivation. Au démarrage celui-ci, sans charge, se met en marche, moyennant l'observation des précautions dont nous avons parlé plus haut ; dès que l'intensité atteint une certaine valeur, l'embrayage magnétique fonctionne, la partie B attire le disque C et la maintient en entraînant la machine à commander. Des dispositions particulières doivent être adoptées dans l'emploi de cet embrayage, notamment en ce qui concerne l'intensité à ne pas laisser tomber au dessous d'une certaine valeur et en ce qui concerne la puissance de la machine à entraîner ; mais, dans certains cas, il peut rendre de réels services.

Il est enfin facile d'utiliser le joint Raffard si précieux pour faciliter le démarrage d'un moteur sous charge.

Arrêt.

On peut aussi avoir besoin d'arrêter souvent très rapidement un appareil actionné par un moteur électrique.

Quand le circuit est coupé, le moteur ne s'arrête pas immédiatement. Pour arrêter l'appareil actionné, on peut avoir recours à l'embrayage magnétique signalé plus haut. M. Siemens a employé également une disposition semblable (Fig. 41). L'arbre sur lequel se trouve l'armature du moteur est susceptible d'un certain jeu dans le sens longitudinal. Au repos, un ressort ou un poids dis-

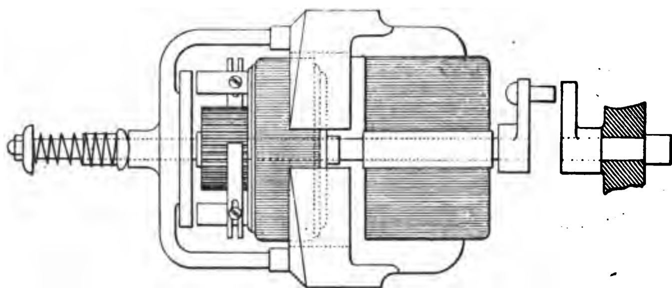


Fig. 41. — Embrayage magnétique de la Société Siemens.

posé sur cet arbre tend à dégager l'armature de ses électro-aimants et de ce fait, les organes d'accouplement montés sur l'arbre de l'armature et sur un axe de commande fixe sont débrayés ; quand le moteur est en mouvement, les aimants du champ attirent fortement l'armature, dont l'arbre se trouve ainsi déplacé, ce qui produit de nouveau l'accouplement.

β. Réglages divers.

Le moteur, pour fonctionner dans des conditions réellement pratiques, doit subir certains réglages.

Nous supposons que les moteurs marchent toujours sur une différence de potentiel constante ou sensiblement telle. Les réglages que nous avons à examiner sont donc

Réglage de la vitesse.
Réglage de la puissance.

Ces deux réglages sont bien souvent dépendants l'un de l'autre ; on peut cependant les étudier successivement.

Réglage de la vitesse angulaire.

Dans un moteur série par exemple, la vitesse diminue dans une grande proportion à mesure que la puissance augmente. Il n'y a guère d'autre moyen pour se maintenir à une vitesse suffisante et à une puissance moyenne que d'avoir recours à un cône formé de plusieurs poulies de différents diamètres, permettant de changer les vitesses de transmission. Nous verrons aussi qu'on peut arriver au même résultat en introduisant dans le circuit une résistance décroissante, à mesure que la puissance diminue.

Pour un moteur shunt au contraire, nous avons vu que la vitesse angulaire reste sensiblement constante, quelle que soit la puissance demandée, surtout lorsque le moteur a une faible résistance intérieure. Il sera donc facile de maintenir toujours la même vitesse angulaire à l'aide de quelques réglages. De même on pourra facilement faire varier la vitesse angulaire en ayant recours à un cône de transmission et intercalant des résistances dans le circuit principal, comme nous allons l'examiner plus loin.

On a aussi disposé des régulateurs à force centrifuge qui viennent agir sur un rhéostat automatique placé dans le circuit des inducteurs.

En ce qui concerne les moteurs compound, les réflexions précédentes suffisent pour fixer les idées.

Réglage de la puissance.

Pour faire varier la puissance fournie par un moteur série, le procédé le plus simple est d'intercaler en circuit

une résistance R variable à volonté, comme nous l'avons indiqué plus haut. On fait varier à la fois la différence de potentiel utile et l'intensité. Il en résulte, comme nous l'avons déjà vu, des variations assez grandes dans la vitesse angulaire.

Un autre procédé (Fig. 42) consiste à placer une résistance R en dérivation aux bornes des inducteurs. Par les variations de cette résistance, on modifie le flux inducteur et par suite on agit sur la puissance utile produite.

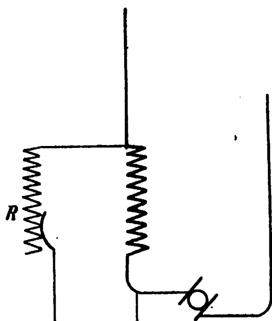


Fig. 42. — Résistance en dérivation sur les inducteurs d'un moteur série.

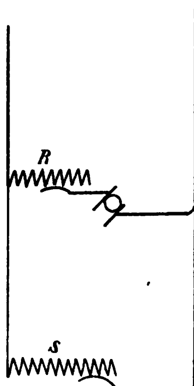


Fig. 43. — Résistance R dans le circuit de l'induit d'un moteur shunt.

Suivant les cas, il sera intéressant d'examiner en détail chacun des deux procédés précédents en faisant les caractéristiques correspondantes.

Sans entrer dans de grandes explications, nous dirons que, pour le moteur shunt, il faut avoir soin de mettre la résistance R variable dans le circuit de l'induit seulement, comme le représente la Fig. 43.

Par ce procédé, on conserve l'invariabilité du flux inducteur; nous aurons également aux bornes du moteur une différence de potentiel constante.

γ. Changements de marche.

Nous avons étudié précédemment le sens de rotation des moteurs, et nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

Pour changer le sens de rotation d'un moteur série, il faut changer le sens du courant dans les inducteurs ou dans l'induit, mais non dans les deux à la fois.

Il en est de même pour le moteur shunt.

Voyons maintenant quels sont les moyens pratiques de réaliser ces changements de marche.

Commutation du courant.

Dans un moteur série, il suffit de changer le sens du courant dans l'induit, en adoptant la disposition que nous représentons théoriquement dans la fig. 44. Si nous fermons le commutateur M en A′ et le commutateur M′ en B, ou M en B′ et M′ en A, le sens du courant sera différent dans l'induit. Il sera seulement nécessaire de bien faire les connexions indiquées. Il existe du reste des commutateurs combinés qui effectuent eux-mêmes ces commutations.

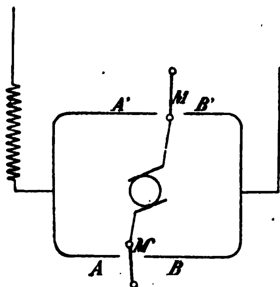


Fig. 44. — Commutation du sens du courant dans un moteur série.

Pour un moteur shunt, une disposition analogue peut

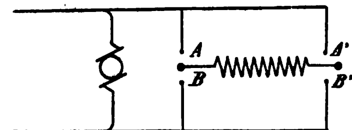


Fig. 45. — Commutation du sens du courant dans un moteur shunt.

être employée (Fig. 45) ; mais nous nous contentons ici de changer dans les inducteurs le sens du courant qui, étant plus faible, se prête davantage à une commutation. D'autres dispositifs plus ou moins compliqués peuvent également être employés.

Calage des balais.

Nous avons vu que dans un moteur les balais devaient être calés en arrière dans le sens de la rotation, à cause du décalage du maximum du flux de force. Si donc nous changeons le sens de rotation, il faut également changer la place des balais.

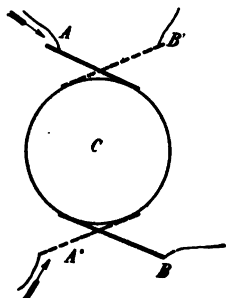


Fig. 46. — Calage des balais dans un moteur suivant le sens de rotation.

Un artifice pour éviter cet inconvénient consiste à ramener le flux de force à la position normale verticale, en ajoutant des électro-aimants dans la ligne perpendiculaire aux 2 pôles.

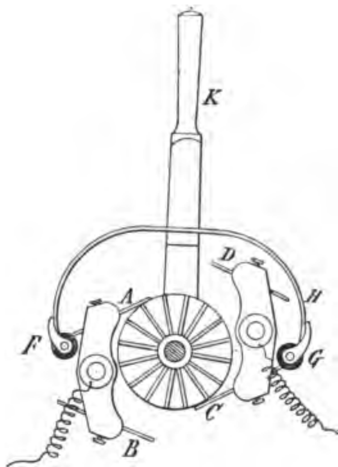
Dans les moteurs ordinaires, où ces électro-aimants supplémentaires n'existent pas, on emploie d'autres artifices. Prenons le collecteur C (Fig. 46) d'un moteur. Dans un sens de rotation les balais sont calés en A et B, le courant entrant en A. Si nous voulons changer le sens de rotation, il faut amener les balais A en A' et B en B', en ayant soin de les faire appuyer en sens inverse pour éviter le *rebroussement* des fils. Cet accident n'est pas à craindre avec des balais en charbon.

Ce déplacement des balais en marche n'est pas toujours très commode. On peut le réaliser pratiquement en employant deux paires de balais convenablement disposées à

l'avance et qu'il suffit d'appuyer suivant les cas. Pour plus de facilité, cette manœuvre se fait, le moteur étant arrêté.

Un grand nombre d'autres dispositions ont été adoptées pour les appareils à deux balais.

Nous citerons en particulier l'appareil employé par



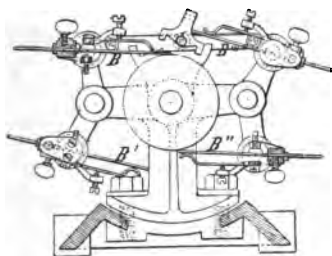


Fig. 47. — Disposition à doubles balais de M. Immisch.

Fig. 48. — Appareil à deux paires de balais.

M. Immisch (Fig. 47) et l'appareil mentionné par M. Leblond dans son ouvrage sur les *Moteurs électriques* (Fig. 48).

Dans les deux appareils, deux paires de balais sont mobiles autour d'un axe, et des leviers avec ressorts convenablement disposés permettent d'appuyer tantôt une paire de balais, tantôt l'autre.

Pour effectuer le changement de rotation d'un moteur, il est préférable d'employer des balais en charbon, qui ne craignent pas le *rebroussement*, et de se contenter de manœuvrer un commutateur pour faire varier le sens du courant dans l'induit (série) ou dans l'inducteur (shunt). Il est ensuite facile de déplacer légèrement les balais pour éviter les étincelles.

δ. Commande des moteurs électriques.

La vitesse angulaire des moteurs électriques est en général très élevée ; aussi en pratique est-on obligé de réduire cette vitesse dans des proportions convenables pour actionner divers appareils d'utilisation.

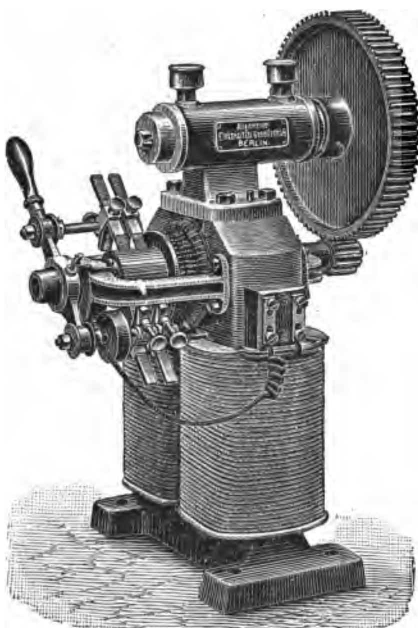


Fig. 48 bis. — Moteur de l'*Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft* avec commande par engrenages.

En général cette commande est faite par poulies de différents diamètres et par courroies. Dans quelques cas aussi on a eu recours aux engrenages. La Fig. 48 bis. représente un moteur de l'*Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft* avec engrenages.

4° *Modèles divers.*

Les moteurs construits aujourd'hui sont très nombreux, et les modèles sont des plus variables. Les puissances varient également dans une très grande étendue. Afin de fixer les idées, nous avons réuni dans le grand tableau suivant plusieurs modèles existants avec le nom du constructeur, une ou plusieurs figures donnant l'aspect général des moteurs. Nous indiquons les puissances limites en kw, les différences de potentiel employées, les vitesses angulaires en tours par minute et enfin en dernier lieu les poids respectifs.

TABLEAU GÉNÉRAL
des divers modèles de moteurs à courants continus.

NOMS	FIGURES	PUISSANCE	DIFFÉRENCE DE POTENTIEL	VITESSE ANGULAIRE EN TOURS : MINUTE	POIDS
Société Gramme	Fig. 49	0,025 et 0,040 kw de 0,091 à 16 kw	15 et 26 volts, 2 pôles 100 volts	3300 et 2000 (série) 1200 à 650 (série, shunt ou compound)	18 kg 42 à 2200 kg
Bréguet. . . .	Fig. 50	de 0,165 à 22 kw	110 volts, 2 pôles	de 2500 à 900 (shunt)	de 7 à 1300 kg
Sautter, Harlé et Cie.	Fig. 51	de 0,073 à 45 kw	110 volts	de 3000 à 600 (shunt)	de 15 à 3900 kg
Postel-Vinay (Cie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston).	Fig. 52	de 0,048 à 0,500 kw	110 volts. 2 pôles	de 2100 à 1900 (shunt) de 1700 à 1400 (série)	de 20 à 70 kg
	Fig. 53	de 1,1 à 8,8 kw de 2 5 à 7 kw	110 à 250 volts, 2 pôles 250 à 600 volts, 2 pôles	de 1650 à 1550 (shunt) de 1550 à 1200 (shunt)	de 80 à 450 kg de 160 à 450 kg
	Fig. 54	de 15 à 20 kw de 15 à 20 kw	100 à 250 volts, 2 pôles 250 à 600 volts, 2 pôles	de 1030 à 925 (shunt) de 1200 à 1100 (shunt)	de 550 à 1200 kg de 550 à 900 kg
	Fig. 55	de 30 à 100 kw de 30 à 100 kw	100 à 250 volts, 4 et 6 pôles 250 à 600 volts, 4 et 6 pôles	de 620 à 400 (shunt) de 800 à 500 (shunt)	de 1700 à 5400 kg de 1700 à 5400 kg
Hillairet-Huguet	Fig. 56 et 57	de 0,068 à 1,1 kw de 1,1 à 200 kw	110 volts, 2 pôles 70 et 110 volts	3 à 2000 (shunt) 2000 à 1700	» »
Société L'Eclairage électrique	Fig 58 et 59	de 0,400 à 30 kw de 1,1 à 100 kw	110 volts, 2 pôles 110 à 250 volts, 2 pôles	de 3000 à 1000 (shunt) de 1700 à 375 (shunt)	de 20 à 1900 kg de 140 à 7000 kg
Société des anciens établissements Cail . .	Fig. 60	de 0,660 à 40 kw	110 volts, 2 pôles	1700 à 600	de 180 à 3300 kg

NOMS	FIGURES	PUISSANCE	DIFFÉRENCE DE POTENTIEL	VITESSE ANGULAIRE EN TOURS : MINUTE	POIDS
F. Hearion. . .	Fig. 61 et 62.	de 0.550 à 15,4 kw de 24,2 à 55 kw de 71 à 450 kw	110 volts, 2 pôles 110 volts, 4 pôles 110 volts, 6, 8, 12 et 16 pôles.	de 2070 à 960 (shunt) de 775 à 495 (shunt) de 430 à 340 (shunt)	de 35 à 800 kg de 1000 à 4000 kg de 4500 à 6000 kg
Cie de Fives-Lille.	Fig. 63 et 64.	de 0,100 à 10 kw de 0,800 à 5,10 kw de 1,5 à 10,4 kw de 8,3 à 72 kw de 17,8 à 73,3 kw	60 à 150 volts, 2 pôles 60 à 210 volts, 2 pôles 210 à 500 volts, 2 pôles 105 à 110 volts, 4 et 6 pôles 220 à 440 volts, 4 et 6 poles	de 1700 à 850 (shunt) de 850 à 625 (shunt) de 1600 à 950 (shunt) de 820 à 425 (shunt) de 820 à 480 (shunt)	de 30 à 670 kg » de 220 à 825 kg de 2000 à 4910 kg de 1800 à 4760 kg
Daniel Sack.Hubert et Cie . .	Fig. 65 et 66.	de 0,150 à 10 kw	110 volts, 2 pôles	2500 à 800 (shunt)	de 8 à 730 kg
Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft.	Fig. 67, 68 et 69.	de 0,140 à 10,4 kw de 1,8 à 10,2 kw de 18 à 50 kw de 73,3 kw	60, 105, 210, 440, 500 volts 2 pôles. » 120, 220, 440 volts, 4 pôles 120, 360 volts, 6 pôles	1700 à 850 (shunt) et 850 à 450 1600 à 770 (shunt) et 700 à 375. 790 à [illegible]50 (shunt) 425 à 270 (shunt) 480	de 3[illegible] à 900 kg de 330 à 1350 kg de 2000 à 4900 kg
Siemens et Halske . . .	Fig. 70.	de 0,05 à 0,736 kw	110 volts, 2 pôles 110 volts, 2 pôles 110 volts, 2 pôles		
Electricitæts-Aktiengesellschaft(Schuckert et Cie) . .	Fig. 71. Fig. 72.	de 0,110 à 7,3 kw de 3 à 13,2 kw de 0,070 à 33 kw	110, 220, 440, 600, 700 volts.	de 1800 à 640	de 30 à 2130 kg
Lundell Motors et Co.	Fig. 73.	de 0,045 à 0,12 kw de 0,25 à 4,8 kw	110 volts, 2 pôles 115, 230, 250 volts, 2 pôles	1200 1700 à 950 (shunt)	» de 18 à 193 kg

Ganz et Cie. . .	Fig. 74.	de 1,6 à 44 kw	110 volts (shunt)	de 1400 à 400, 2 pôles	de 240 à 4400 kg
Schneider et Cie (au Creusot) .	—	de 10 à 100 kw	110 volts (shunt)	de 850 à 375, 4 pôles	de 700 à 7100 kg
Cuttris, Wallis and Co	Fig. 75 et 76	de 1,3 à 24 kw	65, 110 volts (shunt, série)	de 1350 à 760	de 125 à 1300 kg
Crompton et Co	Fig. 77.	de 1,5 à 125 kw	500 volts	1400 à 520	400 à 1800 kg
Westinghouse Electric Co. . .	Fig. 78.	de 0,092 à 11 kw	110, 220, 500 volts, 2 pôles	1900 à 1300 (shunt)	25 à 1450 kg
Acme et Immisch Electric Works.	Fig. 79.	de 0,195 à 41,5 kw	110 volts, 2 pôles	de 1250 à 400	de 15 à 2350 kg
Jenny Electric Motor et Co. .	Fig. 80 et 81.	de 0,368 à 5.5 kw de 5,5 à 36,8 kw	110, 220 et 500 volts, 2 pôles.	2700 à 1600 (shunt; 1600 à 1000	60 à 384 kg 384 à 2840 kg
The Holtzer Cabot Electric Co.	Fig. 82.	de 0,122 à 11 kw	110 volts, à 500 volts, 2 pôles.	de 1900 à 900 (shunt)	de 14,5 à 850 kg
Cie de l'Industrie électrique (Cie franç. Thury).	Fig. 83 et 84.	de 0,400 à 5,5 kw de 33 à 250 kw	110 volts, 2 pôles 110 à 3500 volts, 4, 6, 8 ou 12 pôles	de 2500 à 1300 (shunt) de 500 à 325 (shunt, série compound).	68 à 510 kg 1825 à 14000 kg

NOMS	FIGURES	PUISSANCE	DIFFÉRENCE DE POTENTIEL	VITESSE ANGULAIRE EN TOURS : MINUTE	POIDS
Garbe, Lahmeyer et Cie	Fig. 85.	de 0,300 à 32 kw de 1,450 à 64 kw	de 110 à 500 volts, 2 pôles de 220 à 2000 volts, 4 pôles.	de 1500 à 750 (shunt) de 1450 à 500 (shunt)	de 35 à 3500 kg de 100 à 4750 kg
Crocker Wheeler (de New-York).	Fig. 86.	de 0,061 à 22 kw	110 volts (shunt)	de 1900 à 750	moteur de 3,7 kw pèse 270 kg.
Belknap Motor et Cie.	Fig. 87.	de 0,092 à 44 kw	110 volts (shunt)	2 00 à 800	»
Bauer et Betz	Fig. 88.	de 0,025 à 3 kw	110 et 65 volts (shunt)	de 3000 à 560	»
The Electric Co Motor. . .	Fig. 89 et 90	de 0,092 à 30 kw	110 volts, 2 pôles	2200 à 600 (shunt)	de 10 à 2075 kg
Hartmann et Braun	Fig. 91.	de 0,066 à 0,131 kw	110 volts, 2 pôles	1700 à 1500 (shunt)	de 6,5 à 30 kg
Moteur Austin .	Fig. 92.	de 0,023 à 0,7 kw	5 à 110 volts, 2 pôles	2800 à 1700 (série, shunt)	de 3,6 à 63 kg
—	—	de 0,7 à 7 kw	de 5 à 110 volts, 2 pôles.	1700 à 1000 (série, shunt).	de 63 à 318 kg

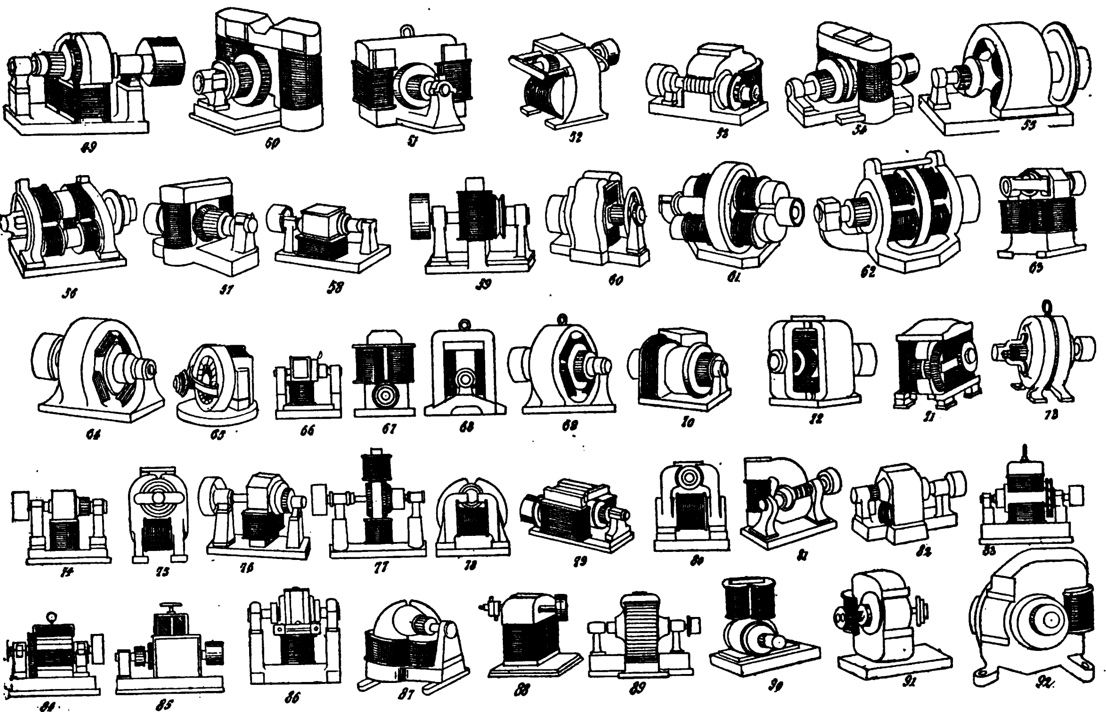


Fig. 49 à 92. — Divers modèles de moteurs électriques à courants continus.

C. Etude des moteurs à courants alternatifs simples.

Nous adopterons dans ce chapitre les mêmes divisions que précédemment.

1° *Théorie.*

α. Classification.

Il importe tout d'abord d'établir une classification qui nous permette de réunir tous les types de moteurs actuellement connus. Nous adopterons à ce sujet la classification dressée en 1891 par M. E. Hospitalier, et nous distinguerons :

a. Moteurs à champ constant.
- *à excitation séparée.* — Aimants ou électro-aimants alimentés par source extérieure.
- *à auto-excitation.* — Courant redressé.

b. Moteurs à champ alternatif.
- *à auto-excitation*
  - *Moteurs série, shunt.*
  - *Moteurs à courant redressé* (inducteurs) *en partie.*
  - *Moteurs électrodynamiques.*
  - *Moteurs à induit fermé.*

c. Moteurs à champ tournant.
- *à auto-excitation.*
  - *Moteurs à induit fermé.*

La théorie de tous ces moteurs a déjà été étudiée dans un grand nombre de travaux et d'ouvrages très intéressants, et a donné lieu à des dissertations mathématiques

très remarquables, quoique souvent un peu compliquées. Pour nous, nous nous contenterons d'admettre les formules précédemment trouvées, et d'en déduire les conclusions pratiques qui nous intéressent. Toutefois nous ne manquerons pas d'indiquer les ouvrages qui contiennent la théorie mathématique complète.

β. Etude détaillée des moteurs à courants alternatifs simples.

a. Moteurs à champ constant.

Les moteurs à courants alternatifs sont, comme les moteurs à courants continus, basés sur le principe de la réversibilité. Nous trouvons également en eux deux parties : l'inducteur et l'induit.

Dans le cas qui nous occupe, l'inducteur peut être constitué par des aimants permanents ou par des électro-aimants alimentés par une source d'énergie électrique séparée. L'induit est formé par une série de bobines qui se déplacent dans le champ magnétique.

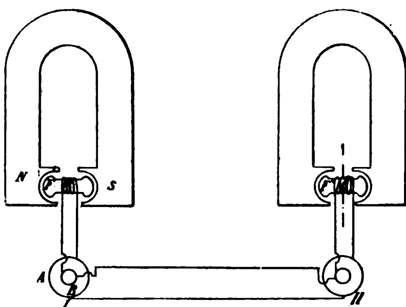


Fig. 93. — Machine magnéto Siemens A et moteur B à courants alternatifs.

Prenons comme exemple le diagramme (Fig. 93) d'une machine magnéto avec bobine Siemens à double T. L'induit est enroulé sur un cylindre de fer F présentant deux rainures longitudinales où est logé cet enroulement. Les deux extrémités des bobines sont reliées à deux an-

neaux isolés A et B placés sur l'arbre, mais que nous représentons ici au-dessous l'un de l'autre. Le courant sortant de la machine I pourra être transmis à une deuxième machine. En vertu du principe de réversibilité, cette machine se mettra en marche, à la condition essentielle qu'au départ la bobine F' occupe la même place que la bobine F, dans le sens horizontal du maximum du flux de force. Si la bobine F' était dans le sens représenté en pointillé, le démarrage deviendrait impossible. Il est donc nécessaire pour ces moteurs que les phases soient les mêmes que celles des génératrices; ils doivent être *synchrones*.

D'autres conditions doivent également être remplies par ces moteurs. On peut au départ les lancer à la main jusqu'à ce qu'ils atteignent le *synchronisme*, avec la vitesse angulaire convenable.

Le démarrage ne peut être obtenu sous charge qu'avec certaines difficultés; cependant au départ la force contre-électro-motrice est nulle. Quand le moteur est en route, il ne faut appliquer la charge que peu à peu et avec précaution. Une charge trop rapide peut amener un ralentissement de vitesse angulaire et par suite détruire le synchronisme; cependant on cite déjà nombre d'applications où les surcharges ont pu atteindre brusquement 50 et 60 pour 100.

Nous verrons aussi plus loin quelques applications où, à part les difficultés du démarrage, les moteurs à courants alternatifs simples ont donné réellement en pratique de bons résultats.

Au lieu d'aimants permanents pour la production du champ magnétique, on peut employer des électro-aimants dans le cas de moteurs de puissance élevée. L'excitation

est alors fournie par une source extérieure (Fig. 94) quelconque.

Quelques moteurs à champ constant sont pourvus d'un redresseur spécial qui leur permet d'emprunter une partie de leur puissance pour assurer leur excitation. Cette disposition, due à M. Zipernowsky, évite l'emploi d'une source d'énergie électrique extérieure, et rend les moteurs *auto-excitateurs*.

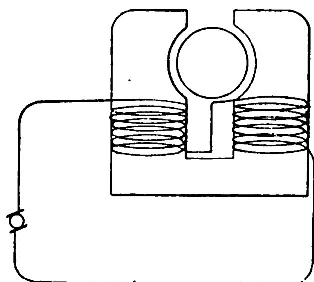


Fig. 94. — Excitation séparée d'un moteur à courants alternatifs.

Dernièrement, en décembre 1893, M. Ferraris a imaginé un moteur synchrone formé par un alternateur simple bipolaire, à induit à spires parallèles, traversé par un courant alternatif de fréquence déterminée. Le champ magnétique est produit par une source excitatrice extérieure et reste constant.

On comprend facilement que tous les alternateurs peuvent être des moteurs synchrones, s'ils remplissent les conditions que nous avons énumérées plus haut.

b. **Moteurs à champ alternatif.**

Les moteurs à courants continus que nous avons étudiés peuvent également convenir pour les courants alternatifs; ils sont auto-excitateurs, et non synchrones.

Dans un moteur en série par exemple, le sens du courant changeant à la fois dans l'inducteur et dans l'induit, le moteur continue son mouvement. Il en est de même pour le moteur shunt.

Ces moteurs, qui sont ainsi auto-excitateurs, présentent de graves inconvénients.

Les courants de Foucault produits dans le fer des inducteurs par les inversions rapides du courant sont très intenses. Il est alors de toute nécessité pour les réduire d'employer des inducteurs feuilletés comme dans les moteurs Rechniewski ; il convient également d'éviter de trop grandes résistances magnétiques. Malgré ces précautions, il subsistera toujours de grandes pertes dues à l'hystérésis. Le coefficient de self-induction de ces moteurs est très élevé ; il s'ensuit que l'intensité efficace sera très faible. La puissance du moteur sera donc diminuée dans des proportions considérables.

Ces reproches sont surtout fondés en ce qui concerne les moteurs shunt. Dans ces moteurs en effet le coefficient de self-induction est très considérable surtout dans les inducteurs. Il en résulte des décalages qui affaiblissent notablement la puissance électrique et par suite le couple du moteur.

Pour obvier à tous ces défauts, MM. Stanley et Kelly en 1891 ont pris des dispositions pour annuler la self-induction des inducteurs et de l'induit, ainsi que la différence de phase entre le courant de l'induit et celui des inducteurs. Les inducteurs et induit sont en tôle mince pour éviter les courants de Foucault. On a combattu la self-induction des inducteurs en mettant du gros fil au lieu de fil fin et en n'employant que le $\frac{1}{10}$ environ du nombre de tours de fil : un condensateur C a été mis en circuit, comme le représente le diagramme, afin d'équilibrer par sa force contre-électromotrice (Fig. 95) la f. é. m. de self-induction. En ce qui concerne la self-induction de l'induit, des

barres de cuivre ont été placées dans des encoches G découpées dans les inducteurs et couplées entre elles pour former un circuit complètement fermé. Elles se trouvent dans le plan du flux de force et ne sont donc pas influencées par les variations de celui-ci ; mais elles agissent sur le circuit induit, de la même façon qu'un circuit secon-

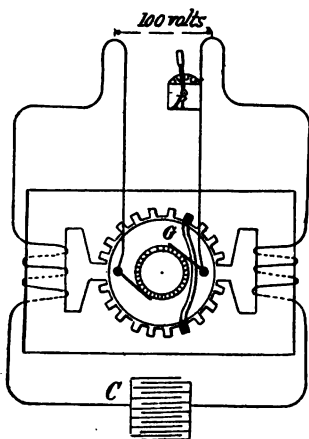


Fig. 95. — Disposition de MM. Stanley et Kelly pour moteurs shunt à courants alternatifs simples.

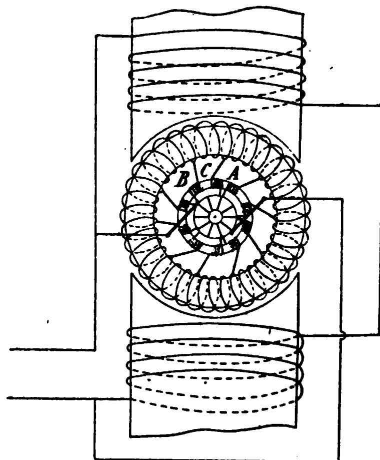


Fig. 96. — Moteurs à courants alternatifs simples de la Cie Hélios

daire agit sur le circuit primaire dans un transformateur afin de réduire la self-induction et le décalage.

La Cie Hélios a pris une disposition qui permet de diminuer l'intensité dans l'induit, pour éviter un trop grand échauffement et des étincelles aux balais, sans toutefois augmenter la self-induction dans le circuit général. L'artifice consiste à intercaler entre l'induit et le collecteur (Fig. 96) une série de bobines A, B, C, disposées sur un anneau en fer spécial, mais enroulées en sens inverse. Ces bobines offrent une self-induction

aux courants induits dans les circuits particuliers fermés ainsi sur eux-mêmes, mais cette self-induction est nulle pour le circuit général, la self-induction de deux bobines voisines s'annulant.

Pour éviter les inconvénients mentionnés plus haut, on a eu recours à des moteurs sans fer, constitués par de véritables électrodynamomètres. Mais en raison de la faible valeur des actions électrodynamiques, la puissance de ces moteurs est limitée. Comme modèle de ce genre, nous citerons le moteur du compteur Thomson.

On a encore employé alors le même artifice que pour les moteurs synchrones, et l'on a eu recours au redressement en tout ou en partie du courant traversant les inducteurs. Nous citerons à ce sujet les dispositifs imaginés par MM. Leblanc et Mordey.

Nous ne pouvons insister longuement sur toutes ces études, sans doute très intéressantes, mais qui n'ont pas été encore utilisées. Il existe en effet aujourd'hui d'autres moteurs à champ tournant donnant toute satisfaction.

Nous arrivons ensuite à une classe de moteurs à induit fermé que l'on peut appeler à auto-excitation, puisque leur champ magnétique est fourni par l'énergie électrique de la distribution. Ces moteurs qui ont été assez utilisés jusqu'ici présentent un réel intérêt.

Il est facile d'imaginer un moteur à champ alternatif et à induit fermé. Prenons un champ alternatif, faisons tourner un conducteur fermé dans ce champ, celui-ci se met bientôt en rotation à une vitesse angulaire synchronique à la fréquence du champ. Les mêmes effets se présentent si on oppose à ce conducteur un couple résistant. Ces moteurs présentent des inconvénients que nous

allons retrouver plus bas. Ils sont asynchrones à champ alternatif et à induit fermé (1).

M. Potier a dernièrement établi dans un mémoire à la Société internationale des Electriciens la théorie de ces moteurs à induit fermé et à inducteur excité par un courant alternatif. Malgré tout l'intérêt de cette question, nous ne saurions ici approfondir cette théorie parfois un peu complexe.

Signalons encore un moteur à champ alternatif et synchrone. Ce moteur a été imaginé en 1893 par M. Ferraris. Le champ magnétique dans lequel tourne un induit à spires parallèles traversé par un courant alternatif de fréquence $\frac{1}{T}$ est lui-même alternatif et de même fréquence $\frac{1}{T}$. Ce moteur fonctionne comme moteur synchrone, si l'armature tourne à une vitesse angulaire double $\frac{2\pi}{T}$.

Ce moteur est soumis à toutes les difficultés du démarrage et du synchronisme, et doit être amené à vide, avant la mise en charge, à une vitesse angulaire 2ω.

M. Brown a construit aussi un moteur asynchrone à champ alternatif et à induit fermé. L'induit est formé par un enroulement dont les extrémités aboutissent à deux frotteurs ; on peut ainsi intercaler une résistance dans le circuit et obtenir des vitesses angulaires variables (Fig 97).

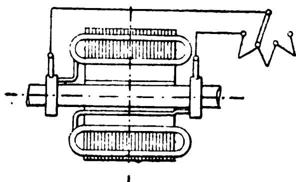


Fig. 97. — Moteur asynchrone de M. Brown à courants alternatifs simples.

Mais M. Brown emploie aussi des moteurs à double

(1) MM. J. Sahulka et de Bast ont publié à ce sujet des études fort intéressantes.

enroulement sur l'inducteur, avec un déphasage de 90° au démarrage, le second enroulement étant mis en circuit seulement à ce moment. Cette deuxième disposition semble préférable à celle que nous mentionnons ci-dessus, et surtout plus pratique. Nous étudierons plus loin ces moteurs très employés aujourd'hui.

La Société des ateliers d'Oerlikon a fait breveter dernièrement un nouveau dispositif pour moteurs synchrones à champ alternatif simple (Fig. 98). L'induit A est formé par une série de spires fermées sur elles-mêmes. L'inducteur B est constitué par une série de bobines dont les extrémités correspondent aux lames d'un collecteur C ordinaire de dynamo à courants continus. Sur ce collecteur se déplacent automatiquement ou à la main deux balais D et E montés sur une tige que l'on peut facilement mettre en mouvement. Le courant alternatif arrive par la canalisation M, passe dans les bobines; en déplaçant les balais sur le collecteur on change rapidement le sens du courant dans l'inducteur. On produit ainsi en quelque sorte un champ tournant qui facilite le démarrage. L'induit se met en mouvement à une vitesse qui est presque synchronique à la vitesse de déplacement des balais. Une fois le démarrage obtenu, le moteur fonctionne dans les conditions ordinaires.

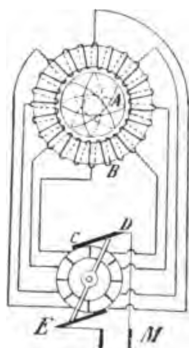


Fig. 98. — Dispositif de la Société d'Oerlikon pour moteurs synchrones à champ alternatif simple.

En résumé les moteurs à champ alternatif peuvent être divisés en deux classes: les moteurs ordinaires et les moteurs à induit fermé.

Les premiers n'offrent pas les difficultés que nous avons trouvées avec les moteurs à champ constant; ils sont asynchrones, démarrent facilement sous charge et à vide, et supportent aisément en marche des variations de charge. Mais en revanche pour atteindre ces résultats ils demandent des complications de construction, de montage, et de dispositifs pour mise en marche.

Les moteurs à induit fermé sont asynchrones; mais ils présentent le grave inconvénient de ne pouvoir démarrer même à vide.

Ces moteurs ont cependant déjà été utilisés dans plusieurs distributions, parce que pour le démarrage on a recours à un champ tournant que l'on peut facilement former avec un courant alternatif simple.

c. Moteurs à champ tournant.

Il est aisé de faire un moteur à champ tournant avec un courant alternatif simple en s'appuyant sur le fait d'expérience suivant observé en 1888 par M. Ferraris. Si nous prenons (Fig. 99) 2 circuits A et B disposés rectangulairement et traversés par deux courants alternatifs de même période, mais dont les phases diffèrent de 90°, nous obtenons au centre un champ composé d'intensité constante, mais dont la direction est variable, se déplaçant avec une vitesse angulaire uniforme, en faisant un tour complet pendant une période. Nous obtenons un *champ tournant.* Plaçons dans ce champ un

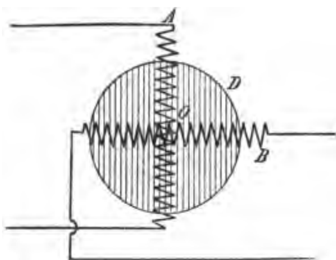


Fig. 99. — Schéma théorique d'un moteur a champ tournant.

disque D ou une bobine fermée sur elle-même et mobile autour d'un axe O, ils se mettront en mouvement en vertu des courants induits ou courants de Foucault.

Pour obtenir un moteur de ce genre, il suffit donc d'avoir deux courants alternatifs de même période décalés de 90°, ce qui était obtenu dans l'expérience précédente par la position des 2 bobines perpendiculaires l'une à l'autre. C'est ce qui a été fait jusqu'ici à l'aide d'un courant alternatif simple et de quelques dispositifs que nous allons énumérer.

M. Ferraris emploie deux circuits branchés l'un sur un circuit d'alternateur A, et l'autre sur le circuit secondaire d'un transformateur T branché sur le même alternateur (Fig. 100).

M. Tesla emploie deux circuits branchés sur la même canalisation, mais présentant l'un une grande résistance

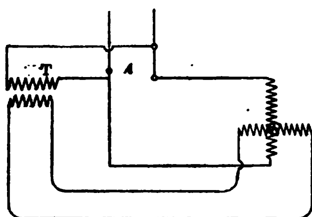


Fig. 100. — Dispositif de M. Ferraris pour moteur à champ tournant.

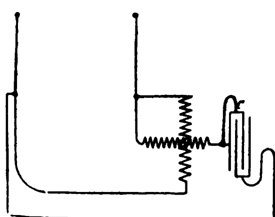


Fig. 101. — Dispositif de MM. Hutin et Leblanc pour moteur à champ tournant.

ohmique et un faible coefficient de self-induction et l'autre une faible résistance ohmique et un grand coefficient de self-induction. En proportionnant convenablement ces deux facteurs, on peut obtenir le décalage de 1/4 de période; le calcul permet de déterminer aisément ces conditions.

MM. Hutin et Leblanc intercalent dans un des circuits un condensateur C, qui fournit le décalage cherché (Fig. 101).

MM. Stanley et Kelly en décembre 1892 ont fait breveter une disposition spéciale qui avait déjà été décrite quelques années auparavant par MM. Hutin et Leblanc. Cette disposition est représentée dans la Fig. 102.

Le circuit de la distribution arrive en C D; l'un des fils traverse l'inducteur A et revient dans le circuit primaire T d'un transformateur, dont le secondaire T′ traverse un voltamètre V et l'inducteur B. Entre les deux inducteurs A et B se déplace l'induit. Le voltamètre V a été réglé pour produire entre les deux courants une différence de phase d'environ 90 degrés.

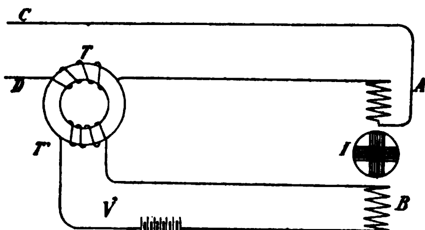


Fig. 102. — Dispositif de MM. Stanley et Kelly pour moteur à champ tournant.

Toutes ces dispositions, et encore plusieurs autres que nous devons passer sous silence, ont donné lieu à un grand nombre de calculs très intéressants; mais bien souvent, en partant de formules relativement simples, on arrive à des résultats compliqués, difficiles à traduire au point de vue pratique.

Pour ne pas étendre au delà d'une certaine limite notre travail, nous nous contenterons des quelques indications données plus haut. Nous étudierons toutefois plus loin en détail les dispositifs qui permettent d'utiliser les champs tournants pour le démarrage des moteurs à courants alternatifs simples, ainsi que les moteurs à courants polyphasés.

2° *Conditions pratiques de fonctionnement.*

Il n'est pas très facile actuellement d'indiquer nettement quelles doivent être les conditions pratiques de fonctionnement des moteurs à courants alternatifs simples. Les essais cependant ont été nombreux; on a cherché depuis longtemps à faire fonctionner des moteurs sur les distributions d'énergie électrique à courants alternatifs; mais jusqu'à ces dernières années les résultats n'avaient pas été très satisfaisants.

α. Expériences de M. Banti.

En 1893, M. A. Banti, rédacteur du journal *Elettricita* de Rome, a effectué quelques expériences sur des moteurs asynchrones Brown à courants alternatifs simples. Ce sont les premiers essais qui déterminent nettement les conditions de fonctionnement industriel des moteurs à courants alternatifs. Il y a peu de mois, en juin 1894, M. R. Arno a publié également dans le même journal d'autres résultats sur un moteur du même genre mais de puissance plus élevée, résultats qui viennent heureusement compléter les premiers.

Dans l'étude qui va suivre, nous utiliserons tous ces documents, qui ont été reproduits par l'*Industrie électrique*.

Les premiers essais, dus à M. Banti, se rapportent à un moteur à 6 pôles Brown de 2, 2 kilowatts, à un moteur à 4 pôles de 1, 1 kilowatt et à un moteur à 4 pôles de 0,55 kilowatt fonctionnant à la fréquence de 40 périodes par seconde et à la différence de potentiel de 107 volts. Les courbes données par les Fig. 103, 104 et 105

représentent toutes les conditions de fonctionnement suivantes :

P_u Puissance utile en kilowatts sur la poulie.
P_e Puissance fournie au moteur, en kw.
I Intensité efficace, en ampères.
$\cos \varphi$ Facteur de puissance ou décalage théorique entre l'intensité et la différence de potentiel.
η Rendement industriel.

En ce qui concerne le moteur de 0,55 kilowatt (Fig. 103), nous remarquons qu'à vide l'intensité atteint 4 ampères, et en pleine charge (0,55 kilowatt), elle est de 8, 8, comme l'indique le trait vertical placé sur la courbe. L'intensité à vide est donc 50 pour 100 environ de l'intensité à pleine charge. D'autre part la puissance dépensée à vide atteint 16 pour 100 de la puissance dépensée à pleine charge. Le rendement atteint 0,71 à pleine charge, et la vitesse angulaire, qui est de 1372 tours par minute à vide, ne tombe pas au-dessous de 1312 à pleine charge ; la variation n'est donc que de 0,045.

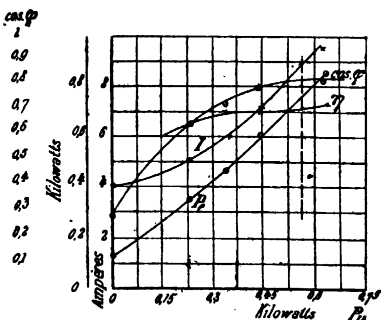


Fig. 103. Courbes de fonctionnement d'un moteur de 0,55 kw à courants alternatifs simples.

Le moteur de 1,13 kilowatt prend également à vide une intensité égale à 50 pour 100 de l'intensité normale (7 ampères) (Fig. 104). La puissance dépensée à vide représente environ 19 pour 100 de la puissance dépensée en pleine charge. Le rendement au régime normal

atteint ici 74 pour 100 ; la vitesse angulaire à vide est de 1336 tours par minute et en pleine charge de 1332 tours par minute

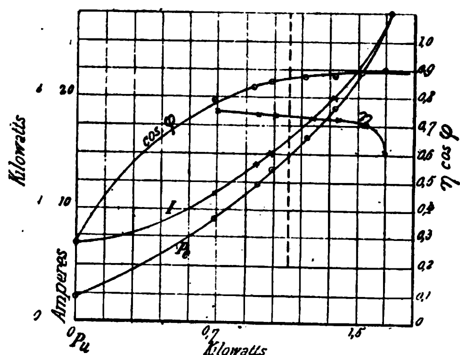


Fig. 104. — Courbes de fonctionnement d'un moteur de 1,13 kw à courants alternatifs simples.

Le moteur de 2,25 kilowatts fonctionne encore dans des conditions plus satisfaisantes de rendement industriel,

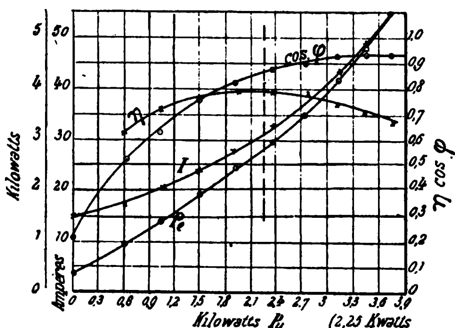


Fig. 105. — Courbes de fonctionnement d'un moteur de 2,25 kw à courants alternatifs simples.

qui atteint 78 pour 100 au régime normal. L'intensité à vide est de 15 ampères et en pleine charge de 27 ampères ;

la variation est encore de 55 pour 100. Les variations de vitesse angulaire sont négligeables : 3,4 pour 100 (902 tours par minute à vide et 872 tours par minute en pleine charge).

β. Expériences de M. Arno.

M. Arno a publié des résultats d'expériences sur un moteur du même genre Brown de 11 kilowatts à 150 volts. La courbe ci-jointe (Fig. 106) nous donne les conditions

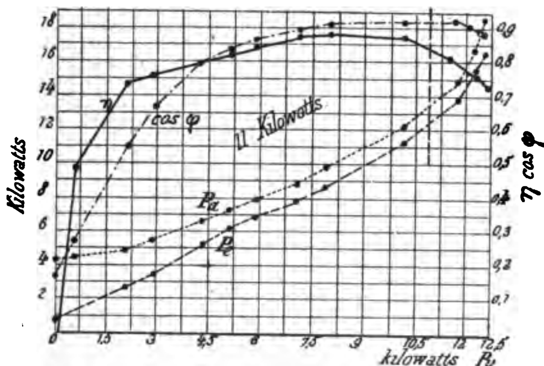


Fig. 106. — Courbes de fonctionnement d'un moteur de 11 kw à courants alternatifs simples.

de fonctionnement. Le rendement industriel est de 82 pour 100 en pleine charge (trait vertical sur la courbe). La vitesse angulaire est de 876 tours par minute à vide et de 851 tours par minute en pleine charge. Les courbes P_e et P_a donnent les différentes valeurs de la puissance électrique réelle et de la puissance apparente fournies aux bornes du moteur. La puissance apparente $P_a = UI$, U étant la différence de potentiel efficace aux bornes et I l'intensité efficace. On sait de plus que $P_a = P_e \cos \varphi$

Au démarrage l'intensité atteint 150 ampères, alors qu'en pleine charge elle n'est que de 102 ampères. Après la mise en marche et à vide l'intensité est de 27 ampères. Au démarrage, la puissance fournie P_e est de 17,595 kilowatts ; à vide elle est de 0,689 kw, et à la puissance utile P_u de 11,386 kw, elle est de 13,923 kw.

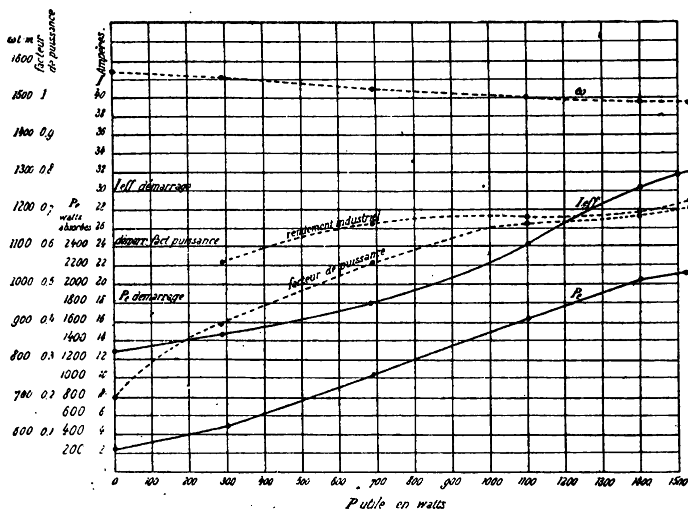


Fig. 107. — Courbes de fonctionnement d'un moteur de 1,472 kw à courants alternatifs simples.

Récemment, M. B. Esson a publié des résultats d'expériences (V. *Electrical Review*, 14 septembre 1894, p. 317), sur trois moteurs Brown asynchrones à courants alternatifs simples, avec démarrage par champ tournant créé artificiellement. Ces trois moteurs fonctionnaient à la différence de potentiel de 100 volts, à la fréquence de 80 périodes par seconde, et avaient respectivement des puissances de 1,472 kw, 0,736 kw et 0,184 kw.

Les courbes ci-jointes (Fig. 107) se rapportent au

fonctionnement du moteur de 1,472 kw. Au démarrage, l'intensité monte à 30 ampères et la puissance absorbée est de 1,8 kw. En régime normal l'intensité est de 31,2 ampères et la puissance absorbée de 2,15 kw. L'intensité et la puissance absorbée suivent une allure normale en fonction de la puissance utile sur la poulie. Le rendement industriel part de 55,8 pour 100 à 0,3 kw et monte graduellement jusqu'à 70,7 pour 100 à 1,5 kw. Le facteur de puissance est de 61,6 pour 100 au démarrage, puis tombe à 0,2 à vide et remonte peu à peu à 69 pour 100. Les variations de vitesse angulaire sont faibles ; à vide, cette vitesse est de 1570 tours par minute, et à pleine charge elle est de 1520 tours : m. La variation atteint donc à peine 6 pour 100.

Pour le moteur de 0,7 kw, les résultats sont sensiblement les mêmes. Le rendement à pleine charge a atteint 72,1 pour 100, et la variation de vitesse à vide et à pleine charge n'a été que de 5 pour 100. Le moteur de 0,184 kw a donné, à pleine charge, un rendement industriel de 71,4 pour 100.

En 1894, M. Boucherot a eu l'occasion de faire diverses expériences sur des moteurs à courants diphasés, mais qu'il a fait fonctionner avec une seule phase, en monophasés. Ces moteurs sont utilisés dans diverses applications agricoles à l'usine de MM. Menier, à Noisiel.

Les courbes de la Figure 108 nous donnent les valeurs successives de l'intensité, du décalage, du rendement électrique et de la vitesse angulaire en fonction de la puissance utile sur la poulie pour le moteur de 11 kilowatts. On remarque que le rendement a une valeur supérieure à 80 pour 100 et se maintient presque constant de 3,5 à 12 kw. L'angle de décalage varie de 80° à 30°.

L'intensité passe de 40 à 160 ampères. La vitesse angulaire varie de 800 à 780 tours par minute.

Les courbes de la figure 109 se rapportent à un moteur de 1,1 kw. Elles donnent les éléments dont nous avons parlé plus haut toujours en fonction de la puissance utile disponible. On verra que pour la puissance maxima de 1,1 kw, le rendement industriel atteint encore la valeur de 68 pour 100.

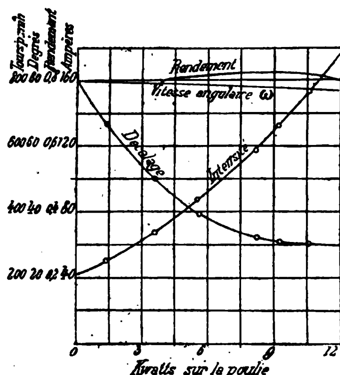


Fig. 108. — Courbes de fonctionnement d'un moteur de 11 kw.

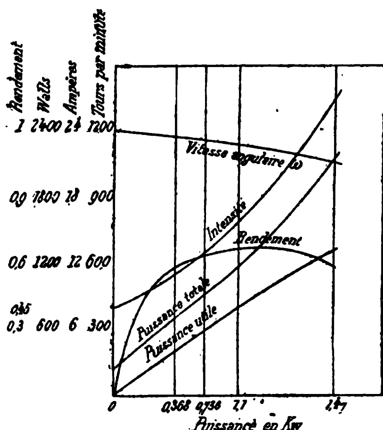


Fig. 109. — Courbes de fonctionnement d'un moteur de 1,1 kw.

Il nous a semblé intéressant d'ajouter quelques renseignements, quoique assez incertains, sur les rendements des moteurs en fonction de leur puissance et sur les masses engagées par unité de puissance. Les courbes de la Fig. 110 nous donnent en A les variations du rendement industriel à pleine charge pour les moteurs examinés plus haut ; la partie pointillée de la courbe n'a pas été déterminée expérimentalement. Il semble que ces rendements augmentent suivant une loi bien déterminée.

Il n'en est pas de même pour les rendements à demi-charge, et nous obtenons différents points qui n'indiquent aucune règle fixe. La vitesse angulaire ω, en pleine charge en C et à demi-charge en D, diminue assez régulière-

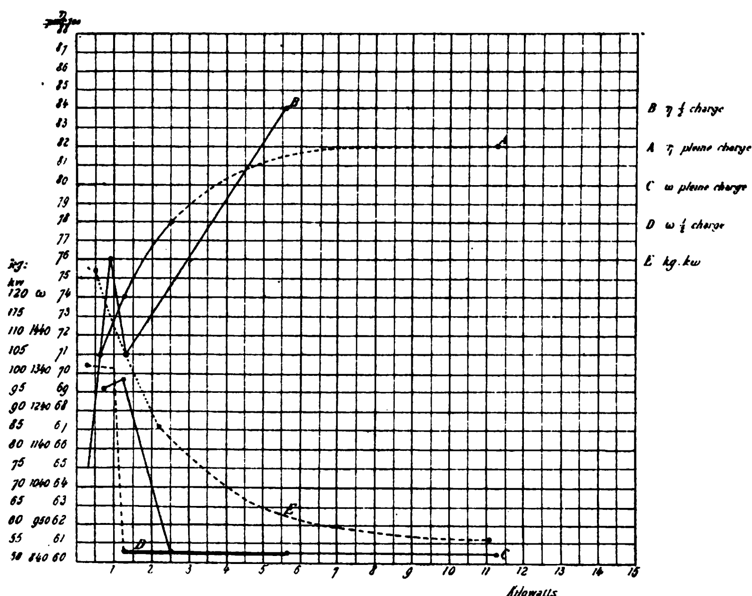


Fig. 110. — Courbes des rendements industriels des moteurs à courants alternatifs simples à charges diverses en fonction de la puissance utile.

ment à mesure que la puissance augmente. Enfin la courbe E nous donne la masse en kg : kw des moteurs en fonction de la puissance utile. Pour les quatre moteurs qui nous occupent, nous trouvons :

127	kg : kw	pour le moteur de	0,55	kw
109	—	—	1,1	—
86,3	—	—	2,2	—
56	—	—	11	—

Il faut espérer que dans peu de temps les lacunes dont nous parlons pourront être comblées.

La maison Westinghouse, de Pittsburg, construit également un grand nombre de moteurs à courants alternatifs simples de puissance élevée. Elle indique pour un moteur de 36,8 kw un rendement industriel de 89,5 pour 100 à pleine charge, de 86 pour 100 à moitié charge et de 77 pour 100 à quart de charge.

La Société des Ateliers d'Oerlikon a fait quelques essais au mois de novembre 1894 sur un moteur synchrone à courants monophasés de 66 kilowatts à 2200 volts. Ce moteur à anneau, genre Kapp, avec excitatrice montée directement sur l'arbre principal était utilisé dans un moulin. La courbe représentant la force électromotrice affecte sensiblement la forme d'une sinusoïde. Les résultats d'expériences obtenus sont consignés dans la courbe ci-jointe en fonction de la puissance utile sur l'arbre (Fig. 110 *bis*). On remarque que l'intensité augmente rapidement avec la puissance. Le facteur de puissance égal à 0,3 à vide prend successivement des valeurs croissantes, atteint 0,5 à 3,7 kilowatts, 0,64 à

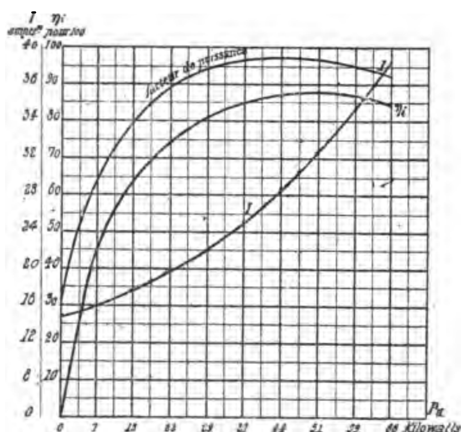


Fig. 110 *bis*. — Courbes de fonctionnement d'un moteur synchrone à courants alternatifs simples.

7,5 kw, 0,80 à 15 kw, 0,90 à 22 kw, 0,92 à 29 kw, passe par un maximum de 0,94 à 44 kw, puis décroît ensuite progressivement pour atteindre 0,92 à 59 kilowatts. Le rendement industriel du moteur a une valeur de 0,4 à 7,5 kw, de 0,74 à 22 kw, de 0,85 à 44 kw, de 0,87 (maximum) à 51 kw, et de 0,85 à la puissance maxima utile de 59 kw.

Ces quelques chiffres nous montrent l'état actuel des moteurs à courants alternatifs. Leurs conditions de fonctionnement sont satisfaisantes en ce qui concerne le rendement industriel et la constance de la vitesse angulaire. Mais le démarrage, la mise en marche et la mise en charge laissent encore beaucoup à désirer et sont de nature à apporter certains troubles dans les distributions d'énergie électrique. Il n'est pas douteux cependant que l'on remédiera facilement à tous ces inconvénients à mesure que la pratique les mettra en évidence.

3° *Dispositions pour couplages, mise en marche.*

Dans les paragraphes précédents, nous venons de voir que les principales difficultés rencontrées avec les moteurs à courants alternatifs simples sont le démarrage à vide ou sous charge, et le maintien en marche sous une charge croissante. Les moteurs à champ constant exigent le synchronisme, les moteurs à champ alternatif à induit fermé sont asynchrones; mais ils ne peuvent démarrer. Les moteurs à champ tournant sont les moteurs pratiques par excellence, démarrant facilement, et fonctionnant à toute vitesse angulaire.

En pratique cependant on a rencontré un grand nombre de moteurs alternatifs à champ constant ou à champ

alternatif, et on a dû avoir recours à divers procédés pour les mettre en fonctionnement.

α. Démarrage des moteurs synchrones à excitation séparée.

Pour les moteurs à courants alternatifs simples M. Mordey emploie une excitatrice séparée à courants continus, montée sur le même arbre que le moteur. Pendant la

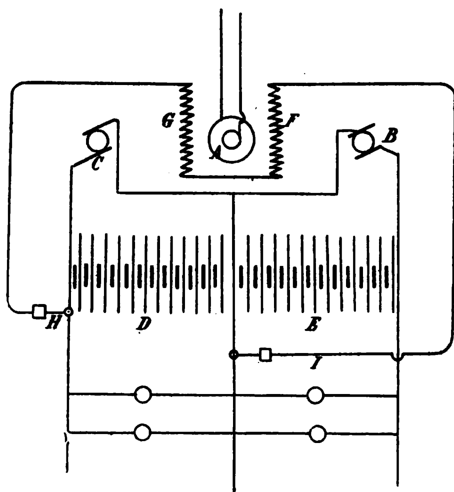


Fig. 111. — Diagramme de couplage des moteurs synchrones de Cassel.

marche normale, l'excitatrice charge une batterie d'accumulateurs de faible capacité. Au moment de la mise en marche, les accumulateurs font marcher l'excitatrice comme moteur jusqu'à ce que le synchronisme soit obtenu. Le champ est fourni également par les accumulateurs. Ces moteurs sont donc des moteurs à courants alternatifs à champ constant.

La ville de Cassel, en Allemagne, est alimentée par une sous-station qui reçoit l'énergie électrique sous forme de courants alternatifs simples à haute tension d'une usine située à 3,5 km. La sous-station renferme des moteurs alternatifs synchrones qui actionnent chacun des dynamos à courants continus montées sur le même arbre. Dans la Fig. 111, A représente les deux anneaux collecteurs de l'induit du moteur synchrone, C et B sont les deux dynamos à courants continus couplées en tension par le système à trois fils pour charger les batteries d'accumulateurs D et E. Des prises de courant en H et I servent à alimenter les inducteurs G et F. Le démarrage et la mise en synchronisme sont obtenus comme précédemment par la décharge des accumulateurs sur les dynamos servant alors de moteurs. On a également essayé dans cette usine un moteur à champ tournant de faible puissance pour produire le même résultat.

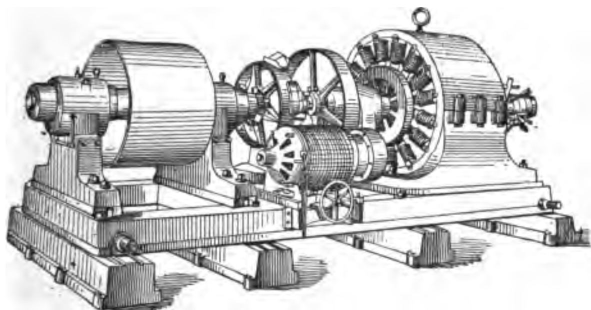


Fig. 112. — Moteur à courants alternatifs synchrones de la maison Westinghouse.

β. Démarrage des moteurs à auto-excitation.

a. Moteurs ordinaires.

La maison Westinghouse, de Pittsburg, construit des moteurs à courants alternatifs simples, avec redresseur

spécial pour l'excitation. Ces dispositions sont adoptées pour les puissances de 22, 37, 55 et 110 kilowatts. Pour les moteurs de 370 et 185 kw, on a recours à l'excitation séparée. Pour la mise en marche de ces moteurs on a disposé un moteur à courants polyphasés, sur le même bâti que le moteur, comme le représente notre Figure 112. Au démarrage le moteur à courants polyphasés est mis en marche et entraîne par friction le moteur à courants alternatifs simples.

Mentionnons aussi la disposition imaginée par MM. Leblanc et Hutin pour maintenir le synchronisme (Fig. 113).

Un anneau Gramme A reçoit un courant alternatif en deux points diamétralement opposés B et C : cet anneau se déplace entre deux pôles formés par une excitation due à un enroulement séparé à courants continus. L'inducteur est pourvu d'un second enroulement D fermé sur lui-même. Dès que le moteur est en marche, les variations de vitesse induisent dans l'enroulement D des courants qui tendent à diminuer l'intensité du champ magnétique, et par suite à ralentir la vitesse angulaire pour ramener le synchronisme. Une action inverse a lieu s'il s'agit d'une vitesse angulaire trop faible.

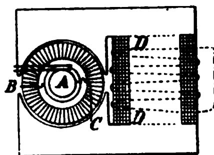


Fig. 113. — Dispositifs de MM. Leblanc et Hutin pour maintenir le synchronisme.

L'Excelsior Electric C° a employé un autre dispositif. Le moteur qu'elle construit est formé d'un inducteur multipolaire en anneau A (Fig. 114) portant deux enroulements, l'un en traits pleins E, et l'autre en traits pointillés E'. L'enroulement E est alimenté par une petite dynamo excitatrice B à courants continus montée sur le même arbre que le moteur. L'enroulement E' est réuni en

C et D sur le circuit d'arrivée du courant alternatif, après l'interrupteur F; les deux extrémités sont reliées en G et G′ à deux balais qui frottent sur un collecteur Gramme. Celui-ci est en communication avec les deux bagues R et R′

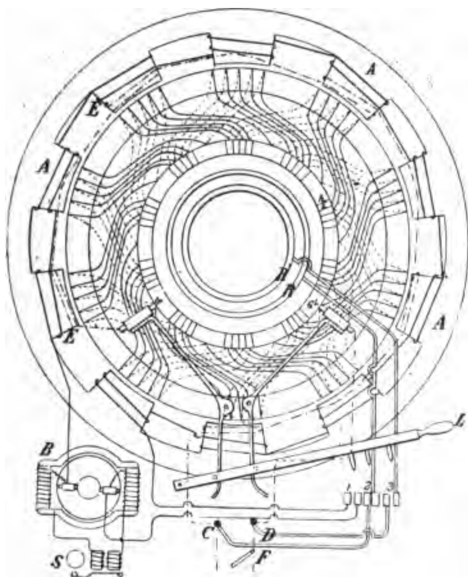


Fig. 114. — Dispositif de l'Excelsior Electric C° pour le démarrage des moteurs à courants alternatifs simples.

qui servent à amener le courant alternatif dans l'induit. Un levier L permet d'effectuer en 1, 2 et 3 des connexions dont nous allons voir le but. A la mise en marche du moteur, quand on ferme l'interrupteur F, le courant alternatif traverse l'enroulement supplémentaire E′, passe dans l'induit par les balais G et G′; on a donc dans ces conditions un moteur électrodynamique qui se met en marche facilement. Quand la vitesse angulaire est suffi-

sante pour que le synchronisme soit atteint, la sonnerie S, placée sur la dynamo excitatrice B, se met à sonner. Aussitôt l'électricien abaisse le levier L ; les balais G et G′ sont éloignés du collecteur, le circuit d'excitation E de la dynamo B est fermé par un contact en 1, et des connexions sont établies en 2 et 3 sur l'induit avec le courant alternatif extérieur.

Ce moteur est donc en réalité un moteur synchrone à champ constant, mais à démarrage et mise en marche par un artifice qui le rendent moteur électrodynamique.

M. Sparke a indiqué également une disposition qui consiste à coupler les inducteurs en dérivation sur une partie de l'armature d'un moteur ordinaire pour le démarrage et la mise en marche, et aussitôt après, dès que le synchronisme est atteint, à alimenter les inducteurs par un courant continu séparé.

b. Moteurs à induit fermé.

Pour les moteurs à courants alternatifs asynchrones, le procédé employé presque exclusivement jusqu'ici consiste à disposer sur les inducteurs un second enroulement supplémentaire présentant une grande self-induction ou une self-induction nulle, et à coupler les deux circuits en dérivation afin de produire un décalage entre les deux intensités traversant les deux circuits, et d'obtenir par suite au centre un champ tournant. Le moteur démarre aussitôt, et on supprime alors le second enroulement qui est appelé *circuit de démarrage*.

Le dispositif employé par les Ateliers d'Oerlikon est représenté dans la Fig. 115. Au centre est l'induit I fermé sur lui-même ; en A et B les deux enroulements des inducteurs. L'enroulement supplémentaire B comprend

dans son circuit une résistance G sans self-induction. Des interrupteurs D et D′ permettent à volonté de retirer ce second enroulement du circuit général C.

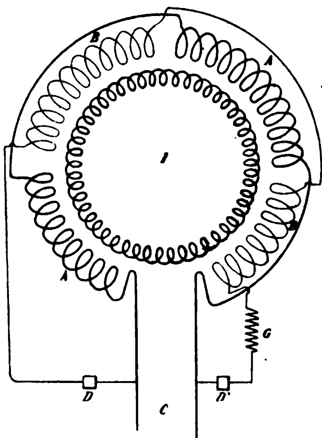
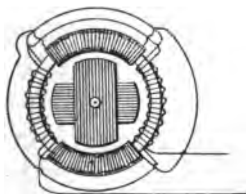


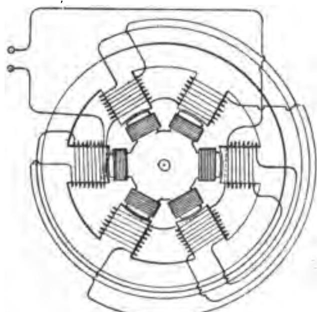
Fig. 115. — Diagramme du moteur à induit fermé de la Société d'Oerlikon.

La résistance G peut être remplacée par une résistance inductive ou par une capacité.

M. Brown a également essayé l'emploi d'un second enroulement sur l'induit; mais la disposition que nous venons de citer semble plus pratique.

M. Tesla obtient un champ tournant en faisant réagir un circuit alimenté par un courant alternatif simple sur divers circuits. Les figures 116 et 117 montrent les dispositions adoptées pour un moteur bi ou multipolaire. Dans ces cas, l'induit est évidemment fermé sur lui-même.


Fig. 116. — Dispositif de démarrage de M. Tesla pour un moteur à deux pôles.


Fig. 117. — Dispositif de démarrage de M. Tesla pour un moteur à plusieurs pôles.

En 1890, MM. Hutin et Leblanc ont montré que, pour

obtenir un démarrage doux et graduel, il fallait augmenter le facteur $\frac{R}{L}$, inverse de la constante de temps qui intervient dans la formule de l'expression du couple moteur. On arrive à ce résultat en intercalant aux bornes du circuit induit des résistances non inductives.

Pour toutes les dispositions précédentes, nous n'avons pu indiquer que des schémas théoriques. Mais la Cie Electromécanique, à Paris, avec le concours de la maison Weyher et Richemond, a entrepris la construction des moteurs Brown et déjà installé plusieurs appareils ayant fonctionné en pratique. Nous pouvons fournir à ce sujet quelques renseignements pratiques plus détaillés. Dans tout ce qui précède nous avons dit que, pour obtenir le déphasage de 90° de deux courants à l'aide d'un seul courant alternatif, il fallait placer dans un circuit une bobine de self-induction. Cette disposition simple en théorie a l'inconvénient d'exiger en pratique une bobine de grandes dimensions. Aussi la Société Brown a-t-elle utilisé à la fois les propriétés inverses de la self-induction et de la capacité en plaçant une bobine de self dans un circuit, et une capacité dans l'autre. La disposition adoptée est représentée dans la Fig. 118. En A et B sont les deux fils d'arrivée ; en E est branchée la bobine de self-induction

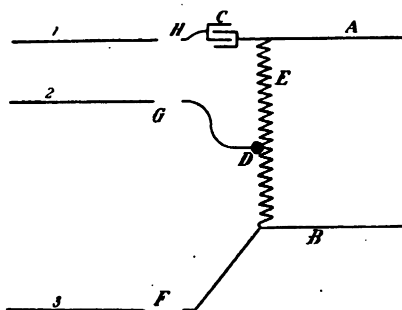


Fig. 118. — Schéma de couplage d'un moteur Brown pour le démarrage.

avec une prise en D ; en C se trouve la capacité. Des interrupteurs F, G, H permettent d'établir les communications avec les fils 1, 2 et 3 des deux circuits des inducteurs, comme nous allons l'indiquer plus loin.

La bobine de self-induction est formée par une série de spires de fils enroulées sur un noyau de fer ; le tout est plongé dans une caisse en fer remplie d'huile. Des bornes ménagées en diverses parties permettent d'en introduire en circuit des portions variables suivant les besoins, ce qui est déterminé par les essais préalables. La Fig. 119 représente la vue extérieure générale de l'appareil qui est de dimensions très réduites : pour un moteur de 7,36 kw la boîte a 40 centimètres de longueur sur 20 de largeur et 25 de hauteur. On remarque à la partie supérieure un interrupteur à deux directions qui permet de mettre en circuit la bobine de self-induction ou de la supprimer à volonté, comme nous allons le voir.

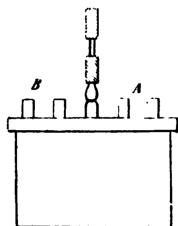


Fig. 119. — Vue extérieure de la caisse renfermant la bobine de self-induction utilisée dans le démarrage.

La capacité polarisante est constituée par une sorte de voltamètre formé de lames de tôles parallèles séparées les unes des autres par des lames de fibre et plongées dans une solution de carbonate de soude.

Il importe maintenant de se rendre compte des dispositions adoptées pour les circuits inducteurs.

Les inducteurs du moteur Brown sont formés par une série d'anneaux en fer présentant des ouvertures comme le représente le dessin (Fig. 120). Une série d'anneaux semblables sont superposés pour former une certaine épaisseur et sont séparés les uns des autres par des feuilles de

papier. Les enroulements sont ensuite passés dans ces ouvertures de façon à disposer les bobines comme le représente la Fig. 121 pour huit bobines. Les quatre premières A B C D

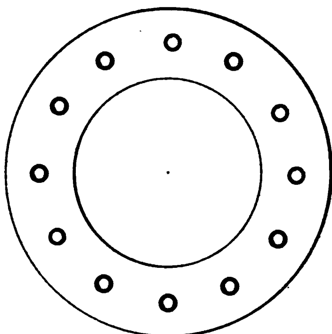


Fig 120. — Rondelles de tôle employées pour les inducteurs des moteurs Brown.

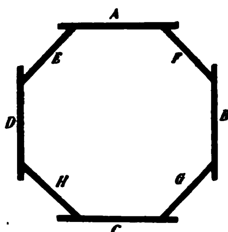


Fig. 121. — Disposition des inducteurs d'un moteur Brown.

sont d'abord posées, puis les quatre autres E, F, G, H dans les espaces laissés libres.

L'induit de ces moteurs est constitué par des barres de cuivre parallèles et reliées ensemble à leurs extrémités par deux disques de cuivre. On a ainsi une série de barres de cuivre montées en quantité, formant ce que l'on appelle des cages d'écureuil. Ces barres de cuivre traversent des cylindres formés de disques de tôle de fer présentant les ouvertures nécessaires pour leur passage. Dans quelques moteurs, les extrémités de l'induit sont réunies à des bagues sur l'arbre, afin de permettre de brancher en dérivation des résistances variables.

Les deux séries de bobines des inducteurs sont couplées entre elles d'après les connexions indiquées par la figure 122, suivant les schémas qui ont été tracés par M. Ch. Jacquin à l'exposition de Lyon. Nous avons représenté un moteur à quatre bobines A, B, C, D. On remar-

quera que l'on obtient ainsi deux circuits de chacun deux bobines en quantité. Ce couplage sert pour le démarrage, lorsque les interrupteurs 1, 2, 3 établissent les communications avec la capacité et la bobine de self-induction. Mais dès que

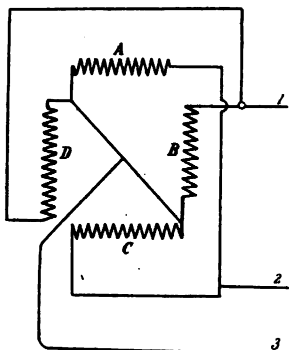


Fig. 122. — Diagramme de connexion des inducteurs d'un moteur Brown au démarrage.

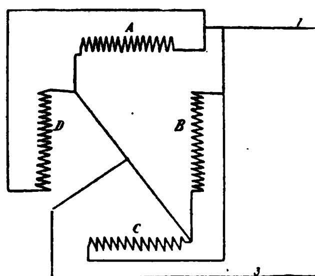


Fig. 123. — Diagramme de couplage des inducteurs en marche normale.

l'appareil est en route, la self-induction et la capacité deviennent inutiles, et, par la manœuvre des interrupteurs placés sur la bobine de self-induction et sur la capacité, on supprime celles-ci et on ferme le circuit directement sur les bornes d'arrivée des fils de la canalisation en 1 et 3. A ce moment les quatre bobines A, B, C, D sont couplées par deux en quantité et le moteur fonctionne en monophase (Fig. 123).

c. Généralités sur les appareils de démarrage.

Le démarrage des moteurs à courants alternatifs simples s'opère très aisément à vide dans les conditions que nous venons d'indiquer. On peut employer à cet effet un dispositif pour ne mettre la charge sur le moteur qu'après le démarrage. Nous signalerons la disposition qui a été choisie dans les ateliers Mildé. On a installé une pou-

8

lie folle sur la transmission intermédiaire qui était néces-

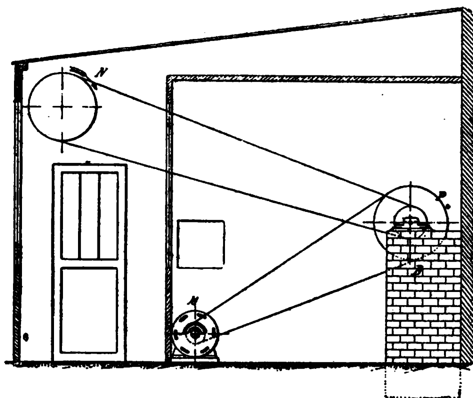


Fig. 124. — Coupe de l'installation d'un moteur à courants alternatifs dans les ateliers Mildé.

saire, et la courroie n'est mise sur la poulie motrice qu'après le démarrage.

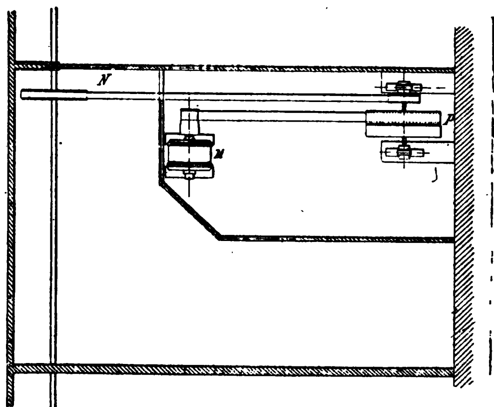


Fig. 124 *bis*. — Plan de l'installation du moteur dans les ateliers Mildé.

Les Figures 124 et 124 bis représentent le plan et la coupe de l'installation. En M est le moteur avec la courroie ve-

nant en P sur la transmission intermédiaire établie sur massif en briques. Une courroie montée sur celle-ci actionne l'arbre de transmission N, qui dessert l'atelier.

Il est évident également qu'il faut tenir compte de la puissance du moteur, et que l'on ne peut demander à un moteur de démarrer sous une puissance deux ou trois fois plus grande que la puissance maxima, comme nous avons déjà pu le constater.

Nous indiquerons encore une précaution prise par les Ateliers d'Oerlikon pour le démarrage des moteurs à courants alternatifs à induit fermé. Pour éviter une trop grande intensité au démarrage, ce qui arrive toujours avec les moteurs à induit fermé, on met le moteur en marche à circuit ouvert; puis, quand le moteur s'approche de la vitesse normale, on glisse un anneau métallique qui vient fermer toutes les spires sur elles-mêmes.

Les rhéostats nécessaires au démarrage sont réunis en général dans un seul appareil placé près du moteur, comme nous l'avons vu plus haut.

Trois points servent pour l'arrêt, le démarrage et la marche. Il ne faut passer de la touche de démarrage à la touche de marche que quand le moteur a bien pris sa vitesse, ce qu'il est facile de connaître au bruit produit.

4° *Modèles divers.*

Les modèles divers ne sont pas très nombreux; on a surtout utilisé jusqu'ici les moteurs polyphasés. Nous avons cependant réuni dans le tableau ci-joint quelques-uns des modèles les plus employés.

NOMS	TYPES	FIGURES	PUISSANCE	FRÉQUENCE	VOLTS	TOURS : MINUTE	POIDS
Brown (C[ie] Electro-mécanique à Paris).	Moteurs asynchrones à induit fermé	Fig. 125.	de 0,56 à 2,25 kw 11 kw	40 périodes : sec —	110 volts 150 volts	de 1332 à 872 800	»
Société l'Eclairage Electrique	Moteurs monophasés.	Fig. 126.	de 8 à 200 kw	—	110 volts	de 600 à 200	»
Société française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston.	Moteurs asynchrones.	Fig. 127.	de 1 à 800 kw	—	de 110 à 2000 volts	de 1800 à 90	de 80 à 25000 kg
Maschinenfabrik Oerlikon.	Moteurs asynchrones à induit fermé.	Fig. 128.	de 0,23 à 3,1 kw de 3,1 à 8,3 kw	65 périodes : sec —	110 volts, 4 pôles 110 volts, 6 pôles	de 1800 à 1750 de 1750 à 1150	de 42 à 230 kg de 230 à 550 kg
Westinghouse.	Moteurs monophasés à redresseur à excit. séparée.	Fig. 129.	de 21 à 110 kw de 110 à 368 kw	120 périodes : sec —	— —	de 900 à 600 de 450 à 360	»
Ganz et C[ie].	Moteurs synchrones avec excitation redressée.	Fig. 130.	de 0,368 à 14,7 kw de 10 à 400 kw	40 périodes : sec —	110 volts —	de 1250 à 830 de 830 à 125	de 47 à 1100 kg de 700 à 23000 kg
	Moteurs asynchones sans redresseur.	Fig. 131.	de 0,092 à 1,1 kw de 1,1 à 1,4 kw	— —	110 volts 110 volts	de 1800 à 1000 900	de 11 à 400 kg —

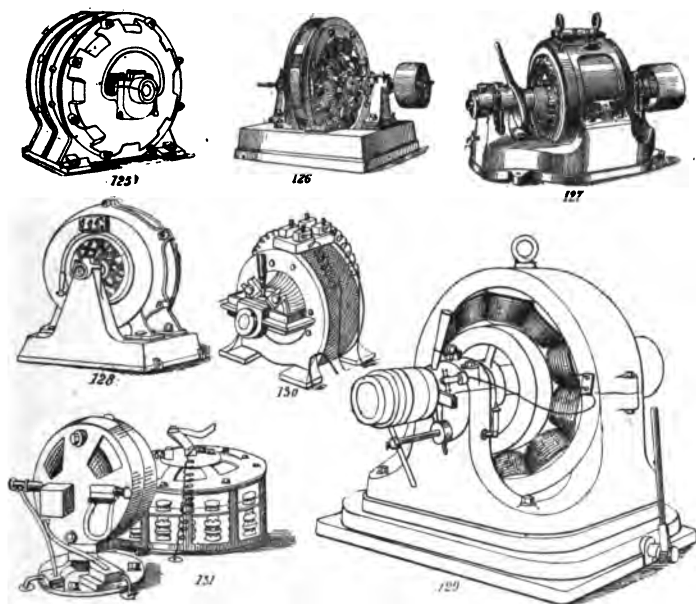


Fig. 125 à 131. — Modèles divers de moteurs à courants alternatifs simples.

Il y aurait eu encore un certain nombre de moteurs à mentionner, tels que les moteurs Patin, les moteurs de la Cie Helios, à Cologne; les renseignements ne nous sont pas parvenus assez à temps pour pouvoir être utilisés.

D. — Etude des moteurs à courants polyphasés.

1° *Théorie.*

α. Moteurs di et triphasés.

Les moteurs à courants polyphasés utilisent les *champs tournants*. Nous avons déjà indiqué dans le paragraphe précédent le principe pour produire un champ tournant en utilisant un courant alternatif simple. Mais on préfère ordinairement, surtout quand il s'agit de puissances plus élevées, avoir recours à plusieurs courants déphasés.

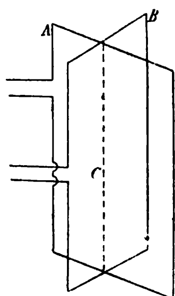


Fig. 132. — Cadres traversés par deux courants déphasés pour produire un champ tournant.

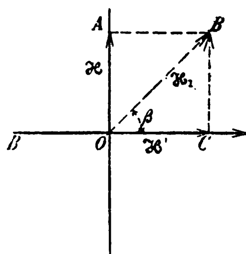


Fig. 133. — Composition des champs produits par deux courants déphasés.

Par exemple, si dans un cadre A (Fig. 132) nous envoyons un courant produisant un champ d'intensité $\mathcal{H} = \mathcal{H}_2 \sin \omega t$

avec la condition $\omega = \frac{2\pi}{T}$, T étant la durée de la période, et si nous faisons passer également en B un courant produisant un champ d'intensité $\mathcal{H}'$, mais ce dernier avec un décalage de $\frac{\pi}{2}$, nous aurons pour celui-ci :

$$\mathcal{H}' = \mathcal{H}_2 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$
$$= \mathcal{H}_2 \cos \omega t.$$

Une construction géométrique très simple nous donne (Fig. 133) :

$$\mathcal{H}_1 = \sqrt{\mathcal{H}^2 + \mathcal{H}'^2} = \mathcal{H}_2$$

Nous avons également

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{BC}{OC} = \frac{\mathcal{H}_2 \sin \omega t}{\mathcal{H}_2 \cos \omega t} = \operatorname{tg} \omega t$$

d'où $\beta = \omega t$.

Il s'ensuit que la résultante des deux champs est un champ d'intensité constante $\mathcal{H}_2$, mais de direction variable à chaque instant, se déplaçant avec une vitesse angulaire égale à $\frac{2\pi}{T}$ radians par seconde ou $\frac{1}{T}$ tours par seconde. Le champ fait donc un tour complet par période.

a. Moteurs asynchrones.

En pratique, l'inducteur est constitué (Fig. 134) par un anneau F G avec des épanouissements polaires A, B, C, D, sur lesquels sont disposés les enroulements de façon à former au même instant en A et B, et en C et D deux pôles alternés. On obtient ainsi au centre deux champs perpendiculaires fournissant un champ tournant.

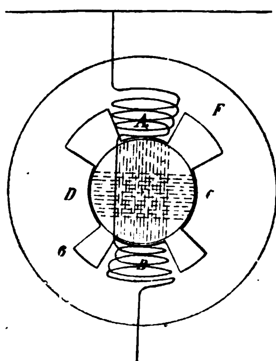


Fig. 134. — Disposition des inducteurs pour champs tournants.

L'inducteur peut être formé également (Fig. 135) par un anneau extérieur sur lequel sont enroulées 2 bobines A et B pour le circuit I, et 2 autres C et D pour le circuit II.

Nous avons vu également les moteurs à courants alter-

natifs simples Brown, dont les 2 circuits de l'inducteur peuvent être utilisés pour les courants polyphasés.

M. Leblanc a adopté une disposition originale pour l'inducteur. L'anneau extérieur (Fig. 136) porte plusieurs

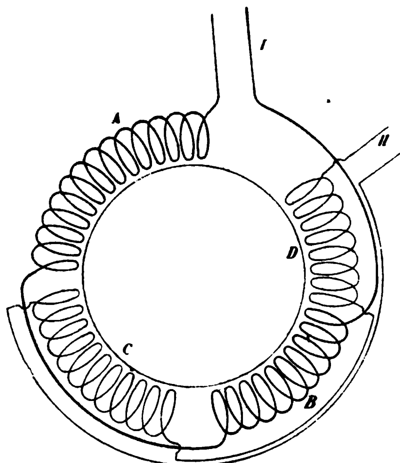


Fig. 135. — Autre disposition d'inducteurs pour champs tournants.

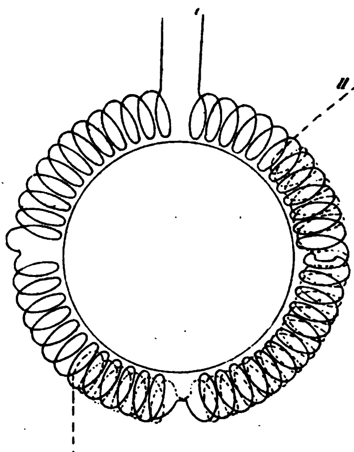


Fig. 136. — Disposition des inducteurs due à M. M. Leblanc.

bobines (4 dans le cas actuel), dont l'enroulement est inversé à chaque quart de tour pour former le premier circuit I. Le deuxième circuit est enroulé sur le premier de la même façon ; mais le commencement de cet enroulement se fait en arrière du premier. Dans chacun des circuits sont intercalés des condensateurs de capacités différentes pour obtenir le décalage de 90°.

L'induit consiste en principe en un cylindre en cuivre ou en fer ; mais en pratique il a fallu prendre quelques dispositions pour augmenter la puissance spécifique (champ magnétique, etc.).

On peut tout d'abord employer des induits ordinaires en tambour ou en anneau, avec carcasse métallique subdivisée et à nombre de fils réduits. Ces induits sont fermés sur eux-mêmes et ne comportent aucun collecteur.

La Société d'Oerlikon a pris un cylindre composé de disques de tôle mince isolés électriquement, percé à sa périphérie de trous parallèles à l'axe; dans ceux-ci sont placées des barres de cuivre isolées également. Leurs extrémités sont réunies sur chaque côté du cylindre par deux bagues de cuivre.

Le moteur de 100 chevaux à courants triphasés d'Oerlikon exposé à Francfort en 1891 était formé de deux anneaux concentriques en fer doux, l'anneau extérieur étant l'induit, et l'anneau intérieur l'inducteur mobile. Les deux anneaux portaient à la périphérie des trous parallèles, dans lesquels étaient fixés les inducteurs et induits.

Dans ce qui précède, nous n'avons supposé que deux champs produits par deux courants déphasés de $\frac{\pi}{2}$, mais il est certain que nous pouvons admettre 4, 5, 8... n champs. Nous aurons alors des moteurs multipolaires, dans lesquels il y aura un *champ tournant* dont la révolution entière correspondra à n périodes, n étant le nombre de champs produits.

En multipliant ainsi le nombre de pôles inducteurs il sera possible de réduire la vitesse angulaire.

La Figure 137 représente la disposition d'un moteur à 2 courants déphasés et à 8 pôles, produisant 4 champs. Un courant traverse les pôles A, B, C et D; l'autre courant traverse les pôles E, F, G, H; les connexions ne sont pas marquées pour éviter toute complication dans la figure. On obtient dans l'armature représentée par un

cercle 8 champs perpendiculaires l'un à l'autre, 4 produits par 4 pôles (premier courant déphasé), et 4 autres (deuxième courant déphasé). Il en résulte au centre dans l'armature quatre champs tournants ; un tour complet du champ correspond donc à 4 périodes.

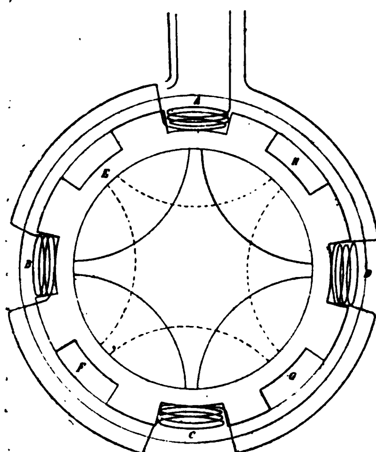


Fig. 137. — Moteur à courants diphasés à 8 pôles.

Sans insister sur tous les calculs mathématiques, nous résumerons en deux mots les qualités essentielles de ces moteurs, qualités que nous n'avons pas trouvées jusqu'ici dans les appareils examinés : le couple moteur dépend de la vitesse angulaire du champ, il est maximum au démarrage et deviendrait nul si l'induit acquérait la même vitesse que le champ.

Nous avons encore à signaler une disposition spéciale de moteurs à courants diphasés à double champ alternatif. Cette disposition a été appliquée pour la première fois en 1889 par la Cie Hélios, de Cologne.

En 1894, la Stanley Electric C°, de Pittsfield, a construit des moteurs basés sur ce principe. La Fig. 138 en représente les inducteurs, et la Fig. 139 les induits enroulés.

Les inducteurs sont formés par 2 couronnes de pôles alternés. L'axe d'un pôle d'une couronne correspond à l'espace laissé libre entre deux pôles de l'autre couronne. Les pôles en nombre pair sur chaque couronne sont alter-

nativement de nom contraire. Ils sont excités dans chaque couronne par des courants alternatifs déphasés de 1/4 de période. On obtient ainsi pour la fréquence de 133 pé-

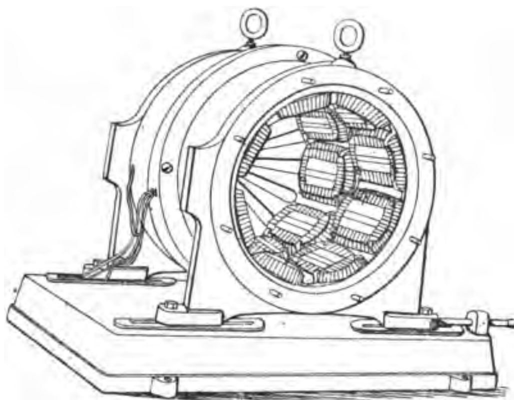


Fig. 133. — Inducteurs des moteurs à courants diphasés de la Stanley Electric Cᵒ

riodes par seconde des champs alternatifs changeant de signe deux fois par période ou 266 fois par seconde ; il est à remarquer que les champs ainsi créés dans chaque couronne sont alternés ; les maxima des uns correspondent aux minima des autres.

L'enroulement est constitué par deux circuits fermés sur eux-mêmes enroulés sur deux couronnes en feuilles de tôle mince superposées et à dents. Les circuits sont placés dans les espaces ménagés entre ces dents. Pour les moteurs d'une puissance supérieure à 1,5 kw, les extrémités des induits aboutissent à 3 bagues montées sur l'arbre ; on peut introduire des résistances variables non inductives entre les bornes de ces circuits à l'aide de rhéostats. Ces résistances ont pour but de faciliter le

démarrage. La Fig. 140 montre une vue d'ensemble d'un moteur de 3,680 kw avec rhéostat de démarrage.

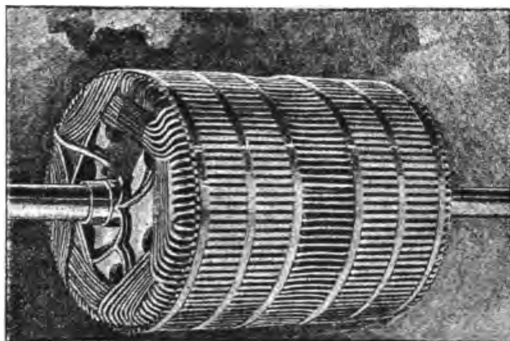


Fig. — 139. — Vue des induits enroulés de la Stanley Electric C°.

Dans ce qui précède, nous avons considéré deux cou-

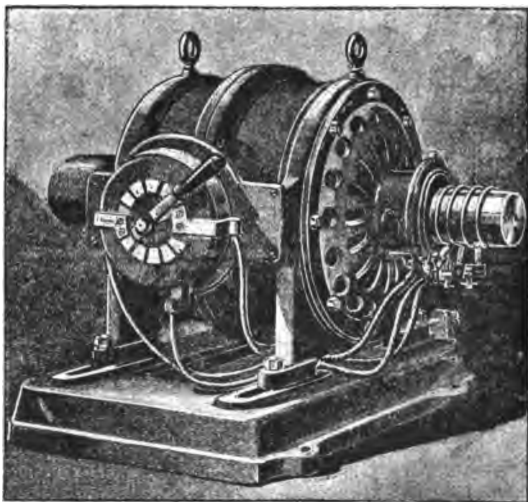


Fig. 140. — Vue d'ensemble d'un moteur de la Stanley Electric C°, avec rhéostat de démarrage.

rants déphasés de 90°, et nous avons eu des moteurs à courants diphasés.

On peut employer n courants alternatifs de même période, mais déphasés de $\frac{180^\circ}{n}$. On a ainsi n champs magnétiques ayant entre eux des directions de $\frac{180^\circ}{n}$. L'intensité du champ constant qui en résulte aura pour valeur $\frac{n}{2}\mathcal{H}$ et ce champ tournera avec une vitesse angulaire constante en faisant un tour complet pendant la durée d'une période.

Pour obtenir un champ tournant plus uniforme, on peut augmenter le nombre de champs n. On est allé aujourd'hui, pour ces moteurs, jusqu'à prendre 6 courants présentant entre eux des différences de phase de 60°.

Nous pouvons maintenant employer trois courants déphasés de 120°, $\left(\frac{4\pi}{3}\right)$, traversant trois cadres A, B, C, non plus perpendiculaires entre eux comme dans le cas précédent, mais à 120° l'un de l'autre (Fig. 141).

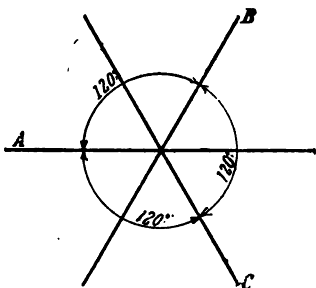


Fig. 141. — Plan de trois cadres à 120° l'un de l'autre et traversés par des courants triphasés.

Cherchons la valeur de l'intensité du champ tournant (Fig. 142).

Soient A, B, C les plans de trois cadres traversés par des courants triphasés, dont la direction est de la périphérie au centre. Nous avons pour les intensités des champs produits par ces trois courants :

$$\mathcal{H}_1 = \mathcal{H} \sin \omega t$$

$$\mathcal{H}_2 = \mathcal{H} \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$\mathcal{H}_3 = \mathcal{H} \sin \left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right).$$

Représentons ces intensités par des droites perpendiculaires aux plans A, B, C avec les directions voulues.

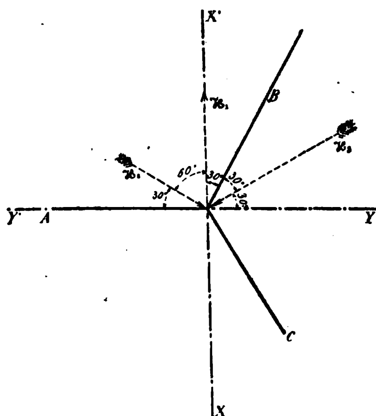


Fig. 142. — Composantes du champ tournant produit par trois cadres traversés par des courants triphasés.

Projetons-les sur un axe XX' choisi passant par l'intensité du champ $\mathcal{H}_1$, nous avons :

$$\mathcal{H}_1 = \mathcal{H} \sin \omega t$$

$$-\mathcal{H}_2 \cos 60^\circ = -\mathcal{H} \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \cos 60^\circ$$

$$-\mathcal{H}_3 \cos 60^\circ = -\mathcal{H} \sin \left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) \cos 60^\circ;$$

$$\sum_X = \mathcal{H} \sin \omega t - \mathcal{H} \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \cos 60^\circ - \mathcal{H}$$

$$\sin\left(\omega t+\frac{4\pi}{3}\right)\cos 60^\circ$$

$$=\mathcal{H}\left(\sin\omega t-\cos 60^\circ\left[\sin(\omega t+\frac{2\pi}{3})+\sin(\omega t+\frac{4\pi}{3}).\right]\right.$$

Or $\qquad \sin\left(\omega t+\frac{2\pi}{3}\right)+\sin\left(\omega t+\frac{4\pi}{3}\right)=-\sin\omega t$

et $\qquad \cos 60^\circ=1/2.$

$$\sum_X=\mathcal{H}\left(\sin\omega t+\frac{1}{2}\sin\omega t\right)=\frac{3}{2}\mathcal{H}\sin\omega t.$$

De même, en projetant sur l'axe YY' perpendiculaire à l'axe XX', nous avons

$$\mathcal{H}_1=0$$

$$\mathcal{H}_2\cos 30^\circ=\mathcal{H}\sin\left(\omega t+\frac{2\pi}{3}\right)\cos 30^\circ$$

$$-\mathcal{H}_3\cos 30^\circ=-\mathcal{H}\sin\left(\omega t+\frac{4\pi}{3}\right)\cos 30^\circ;$$

$$\sum_Y=\mathcal{H}\cos 30^\circ\left[\sin\left(\omega t+\frac{2\pi}{3}\right)-\sin\left(\omega t+\frac{4\pi}{3}\right)\right]$$

mais $\sin\left(\omega t+\frac{2\pi}{3}\right)-\sin\left(\omega t+\frac{4\pi}{3}\right)=-\sqrt{3}\cos\omega t$

et $\qquad \cos 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2};$

$$\sum_Y=-\mathcal{H}\frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{3}\cos\omega t=-\mathcal{H}\frac{3}{2}\cos\omega t$$

La résultante de la somme des deux projections sera donc égale à

$$\mathcal{H}_R = \sqrt{\sum{}_X^2 + \sum{}_Y^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{3}{2}\mathcal{H}\sin\omega t\right)^2 + \left(\frac{3}{2}\mathcal{H}\cos\omega t\right)^2}$$

$$= \frac{3}{2}\mathcal{H}.$$

On obtient encore un champ tournant d'intensité constante d'une valeur égale à $\frac{3}{2}\mathcal{H}$.

Ces courants triphasés présentent une particularité : leur somme algébrique est nulle à chaque instant.

On peut le démontrer algébriquement de la façon suivante :

On a $$I_1 = I_0 \sin \omega t$$

$$I_2 = I_0 \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$I_3 = I_0 \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right)$$

$$\Sigma I = I_1 + I_2 + I_3 = I_0\left[\left(\sin\omega t + \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right)\right].$$

Or $\sin\omega t + \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) = 0$

D'où $$\Sigma I = 0.$$

La construction géométrique ci-jointe (Fig. 143) nous montre également qu'à chaque instant la somme $I_1 + I_2 + I_3$ est nulle.

Cette remarque permet de supprimer dans une canalisation le fil de retour, puisque l'intensité dans ce fil est nulle.

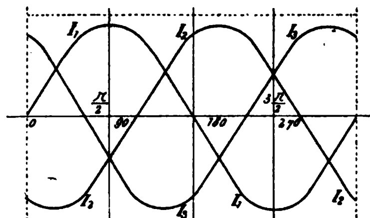


Fig. 143. — Construction géométrique pour démontrer qu'à chaque instant l'intensité totale de trois courants triphasés est nulle.

b. Moteurs synchrones.

Les moteurs à courants polyphasés peuvent être synchrones ou asynchrones. Dans tout ce qui précède, nous n'avons examiné que les moteurs *asynchrones* qui présentent réellement le plus grand intérêt pratique.

Nous devons aussi mentionner les moteurs à champ constant ou synchrones expérimentés et décrits en 1888 par M. Tesla.

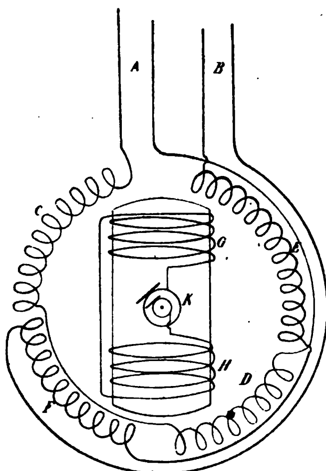


Fig. 144. — Schéma du moteur synchrone à courants diphasés a deux pôles, de M. Tesla.

La Figure 144 représente un moteur synchrone diphasé bipolaire à champ tournant. Deux courants diphasés arrivent en A et B et traversent diverses bobines C et D d'une part pour le premier, et E et F pour le second. Au centre se trouve un électro-

aimant formé d'une pièce de fer, mobile autour de l'axe, avec des enroulements G et H. Un courant extérieur continu est envoyé dans ces enroulements par les frotteurs K. Au démarrage, l'excitation extérieure n'est pas faite; les enroulements sont ouverts ou en court-circuit. Le moteur démarre comme un moteur asynchrone ordinaire. Dès qu'il est en marche, on envoie le courant continu F par les frotteurs K. Le moteur se met bientôt en synchronisme. Le démarrage ne peut pas avoir lieu sous charge.

Mais il est à remarquer qu'en pratique les courants induits à l'intérieur de l'électro-aimant par les inducteurs suffisent pour provoquer le mouvement; il n'est donc pas nécessaire d'employer le courant continu extérieur.

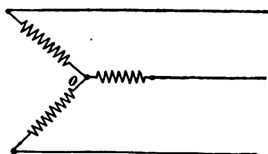
Cette disposition peut être adaptée à des moteurs diphasés multipolaires. L'électro-aimant mobile doit avoir autant de pôles qu'il y a de champs tournants. La maison Schuckert a construit un moteur de ce dernier genre.

Signalons enfin des moteurs dus à M. Haselwander, basés sur le même principe, mais avec courants triphasés.

La Société *L'Eclairage électrique* a exposé en 1894 à Lyon un moteur synchrone à courants alternatifs diphasés de dix chevaux, à induit mobile et à inducteur fixe, avec dynamo à courants continus de faible puissance, montée sur le même bâti.

En ce qui concerne les courants triphasés, deux montages peuvent être adoptés : en *triangle* ou en *étoile*. Ces deux modes de montage sont représentés dans les Figures 145 et 146. Le mode pratique, avec anneau extérieur commun, est indiqué dans la figure 147.

Le dessin 148 donne également la disposition générale d'un moteur à courants triphasés avec induit fermé sur lui-même.



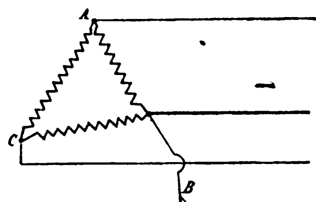


Fig. 145. — Montage en triangle Fig. 146. — Montage en étoile d'un moteur à courants triphasés.

Il nous reste maintenant à indiquer quelques dispositions qui ont déjà été employées en pratique.

Nous ne pouvons étudier en détail tous les perfectionnements apportés à ces appareils depuis leur première

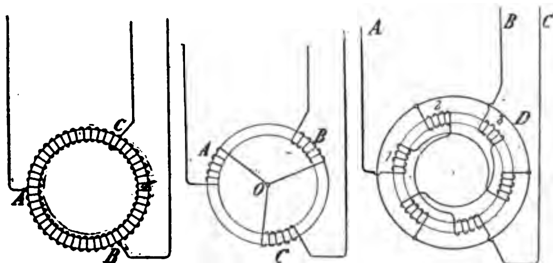


Fig. 147. — Dispositions pratiques des couplages en triangle et en étoile.

apparition. Nous verrons plus loin les divers modèles avec leurs constantes.

Dans les moteurs à courants diphasés, M. Tesla a employé des champs magnétiques fermés, ce qui a permis d'améliorer notablement les conditions de fonctionnement de ces appareils.

Il faudrait également un volume complet pour décrire

les dispositions d'induits fermés adoptées jusqu'ici (tiges de cuivre insérées dans anneaux de fer, etc.). De grands travaux et études ont été poursuivis à ce sujet par MM. Dolivo-Dobrowolsky, Brown, etc.

La maison Siemens et Halske en 1892 employait non un induit fermé, mais un anneau Gramme ordinaire à col-

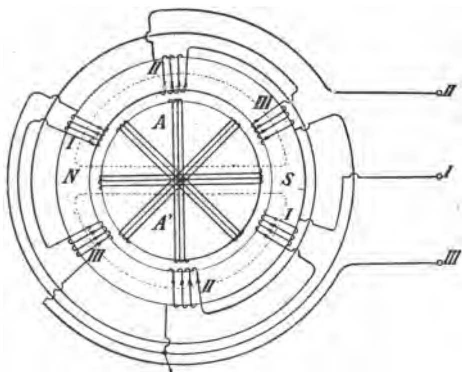


Fig. 148. — Disposition générale des circuits d'un moteur à courants triphasés avec induit fermé sur lui-même.

lecteur extérieur, se déplaçant au centre d'un inducteur annulaire. Les trois courants alternatifs après avoir traversé l'induit arrivaient à trois balais calés à 120° l'un de l'autre sur le collecteur.

Les électromoteurs de faible puissance à courants diphasés construits par MM. Schneider et Cie du Creusot ont un inducteur formé par un anneau extérieur avec épanouissements polaires. L'induit mobile est constitué par un cylindre composé de disques de tôle isolés ; la périphérie porte des rainures (96 environ de 30 mm de profondeur pour les moteurs de 30 chevaux à 16 pôles), dans lesquelles sont logés les fils qui passent d'une rainure à

l'autre de façon à constituer des bobines plates en forme de spirales embrassant chacune deux intervalles de pôles par ses spires les plus étendues.

L'induit porte deux enroulements, l'un chevauchant sur l'autre à demi-intervalle de bobines.

Pour les moteurs de 30 chevaux, qui ont été employés aux mines de Decize, le nombre des pôles est de 16 ; il y a donc pour chaque circuit huit pôles montés en série et bobinés à droite et à gauche alternativement. Ces courants donnent un champ tournant à la vitesse angulaire de 630 tours par minute.

Ces quelques considérations suffisent pour prouver combien est vaste l'horizon ouvert par les courants polyphasés et pour faire entrevoir toutes les applications qui peuvent être réalisées par ces nouveaux moteurs. Nous ne pouvons, bien à regret, développer plus longuement cette très intéressante question.

2° *Conditions pratiques de fonctionnement.*

Les moteurs à courants polyphasés présentent de très grands avantages ; mais ils nécessitent des études longues et suivies.

α. Conditions diverses.

Ils peuvent être facilement mis en charge et démarrer; le couple est maximum au démarrage ; mais dans certains cas, il faut intercaler une résistance supplémentaire dans le circuit de l'induit ; nous verrons plus loin les artifices employés dans ce but. Ils donnent également des rendements très satisfaisants et qui ne sont nullement inférieurs aux rendements des moteurs à courants continus. Dans leur fonctionnement, il importe de considérer

encore un grand nombre de facteurs ; nous citerons entre autres l'intensité au démarrage, le facteur de puissance ou rapport de la puissance réelle dépensée à la puissance apparente, ainsi que la fréquence à adopter.

Ces quelques réflexions nous montrent que le champ d'études est encore vaste en ce qui concerne les moteurs à courants polyphasés ; mais jusqu'ici les expériences se poursuivent de tous côtés, et les résultats n'en sont pas encore connus.

Nous citerons cependant et nous analyserons les résultats d'expériences faites en 1894 par M. Boucherot sur divers moteurs à courants polyphasés dans une installation à Noisiel chez MM. Menier, ainsi que les conclusions et remarques des nombreuses études de M. Louis Bell sur cette intéressante question.

β. Essais de M. Boucherot.

M. Boucherot, chef du laboratoire électrique de la C[ie] électro-mécanique Weyher et Richemond, et qui étudie tout spécialement ces questions des courants alternatifs et polyphasés, a expérimenté 2 moteurs à courants diphasés Brown de 12 à 15 kw. Les courbes de la fig. 149 donnent les résultats obtenus. En abscisses sont portées les puissances utiles en watts sur la poulie, en ordonnées se trouvent l'intensité I en ampères dans chacun

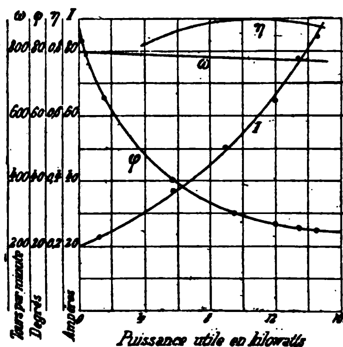


Fig. 149. — Courbes donnant les résultats d'expériences pour des moteurs à courants diphasés de 15 kw.

des deux circuits, η le rendement, φ le décalage en degrés, ω la vitesse angulaire en tours par minute. L'intensité à vide est de 20 ampères, puis elle augmente successivement jusqu'à 85 ampères pour une puissance utile de 15 kw. Le décalage atteint 85° à vide et diminue régulièrement jusqu'à 25° à 16 kw. Le rendement part de 0,82 à 4 kw, augmente successivement, passe par un maximum de 0,9 pour 10 kw et diminue ensuite jusqu'à 0,88 pour 15 kw. La vitesse angulaire ω est de 800 tours par minute à vide et tombe environ à 750 à pleine charge ; la diminution ne dépasse donc pas 6 pour 100.

γ. Etudes de M. L. Bell.

M. L. Bell a beaucoup travaillé en Amérique la question des courants polyphasés et a fait à ce sujet plusieurs communications à l'*American Institute of Electrical Engineers*, que M. G. Roux a analysées dans *L'Industrie Electrique*. Nous en extraierons ce qui a rapport aux moteurs.

D'une manière générale, les moteurs à courants polyphasés ont un fonctionnement très satisfaisant.

Il y a lieu d'intercaler dans le secondaire une résistance convenable pour éviter au démarrage une intensité trop grande ; nous verrons les dispositions adoptées. Dans la plupart des moteurs cette intensité au démarrage n'est pas très élevée. Des expériences ont prouvé que, pour divers moteurs établis spécialement pour obtenir au démarrage un couple moteur double du couple à pleine charge, l'intensité était plus faible qu'en pleine charge.

Dans ces moteurs, souvent la puissance réelle absorbée peut être très faible et la puissance apparente, calculée par le produit de la différence de potentiel en volts par

l'intensité en ampères, au contraire très élevée. Le facteur de puissance qui est le rapport de ces deux puissances permet de fixer les idées à cet égard.

Les courbes de la Fig. 150 se rapportent A à un moteur de 15 chevaux à 4 pôles, B et C à deux moteurs de 5 chevaux, pour une fréquence de 50 périodes par seconde. Elles donnent les valeurs du facteur de puissance en fonction de la puissance utile. A pleine charge ce facteur est de 94 pour 100 pour le moteur C et de 90 pour 100 pour les deux autres moteurs. Très faible à vide ce facteur augmente rapidement.

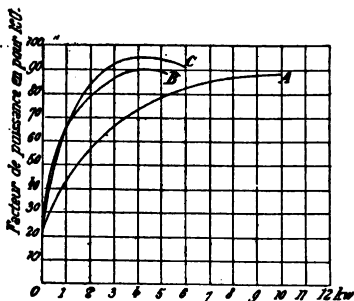


Fig. 150. — Courbes donnant les valeurs du facteur de puissance en fonction de la puissance utile pour moteurs à courants polyphasés.

En ce qui concerne les rendements (Fig. 151), la courbe A nous montre que l'on obtient un rendement supérieur

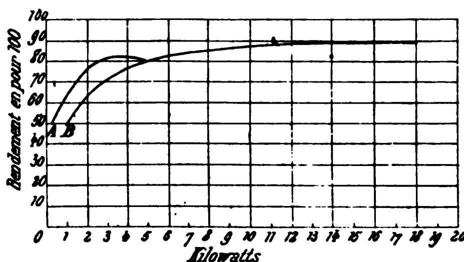


Fig. 151. — Courbes donnant les valeurs du rendement industriel en fonction de la puissance utile.

à 80 pour 100 pour un moteur de 3,680 kw Thomson-Houston, dont la puissance varie de 2,5 à 4 kw. La

courbe B se rapporte à un moteur de 14,72 kw. A partir de 6 kw, le rendement dépasse 80 pour 100 et atteint 90 pour 100 à 14 kw.

La fréquence doit être également considérée ; cependant M. Bell a trouvé qu'elle pouvait varier entre 30 et 70 périodes par seconde sans apporter de notables changements.

Signalons enfin les puissances spécifiques en kg par cheval réalisées jusqu'ici avec des moteurs. Le tableau suivant se rapporte aux moteurs Thomson-Houston :

Puissance en chevaux	Puissance spécif. en kg : cheval
5	47
10	30
15	31
20	33 (6 pôles)
100	30 (8 pôles)

Pour les moteurs de puissance élevée, on arrive à 10 et 15 kg par cheval.

Nous terminerons enfin ces quelques renseignements par une comparaison qui ne manque pas d'intérêt entre les moteurs à courants continus et à courants polyphasés, au point de vue du fonctionnement et de l'entretien. Pour un moteur à courants continus, le rendement est peu élevé à faible charge, la vitesse reste constante s'il s'agit d'un moteur-shunt, ou variable s'il s'agit d'un moteur-série, mais elle ne peut être à la fois à volonté constante ou variable dans de grandes limites. Un moteur à courants continus fonctionnant à un régime donné, si celui-ci vient à changer, il en résulte des étincelles aux balais, qu'il faut déplacer. Le collecteur s'abîme facilement, se creuse, se couvre de poussière, de cambouis, etc.

Les moteurs à courants polyphasés ne présentent aucun de ces inconvénients. Nous avons vu que le rendement prend des valeurs élevées pour une faible charge et qu'il se maintient ensuite à des valeurs satisfaisantes.

Les moteurs à courants polyphasés fonctionnent avec des vitesses angulaires dont les variations ne dépassent pas 5 à 6 pour 100 dans les moteurs de faible puissance et 2 à 3 pour 100 dans les moteurs de grande puissance, quelle que soit la charge. Mais en introduisant des résistances dans le circuit induit, on peut faire varier la vitesse angulaire dans de grandes proportions. M. Bell cite le cas d'un moteur à 4 pôles à la fréquence de 50 périodes par seconde, dont on a pu faire varier par l'artifice mentionné la vitesse angulaire de 1400 à 150 tours par minute. Dans le premier cas, la puissance utile était de 11 kw, et, dans le second cas, elle était de 1,5 kw.

Dans les moteurs à courants polyphasés nous ne retrouvons ni collecteurs, ni balais. Des dispositions spéciales sont prises pour permettre, à l'aide de lames, de faire varier la résistance de l'induit. Ajoutons enfin que les moteurs à courants polyphasés ont une puissance spécifique en kg par cheval beaucoup plus élevée, qu'ils présentent en marche un échauffement presque nul, qu'ils peuvent supporter des surcharges élevées, et qu'ils offrent au démarrage le couple maximum. Il est enfin facile en quelques secondes de changer le sens de rotation.

Pour achever de fixer les idées, nous mentionnerons les expériences comparatives de M. Bell sur deux moteurs à courants polyphasés et deux moteurs à courants continus de 1,472 kw, en ce qui concerne le rendement. Les courbes 1 et 2 se rapportent aux moteurs à courants polyphasés, et les courbes 3 et 4 aux moteurs à courants

continus (Fig. 152). Les courbes 1 et 2 montent rapidement; à 0,3 kw, la courbe atteint 60 pour 100, et la courbe 2 environ 58 pour 100; à 0,900 kw, elles donnent respectivement 90 et 75 pour 100. Les courbes des moteurs continus restent constamment au-dessous, excepté au delà de 1,5 kw.

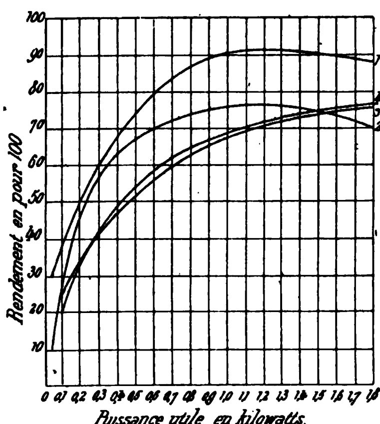


Fig. 152. — Courbes comparatives de rendement des moteurs à courants continus et polyphasés.

On est parvenu dans quelques installations à éviter les inconvénients que nous signalions au début et notamment les intensités très grandes sur les lignes à faible charge. La Stanley Electric C°, de Pittsfield, emploie une distribution à 500 volts et dispose en dérivation sur chaque circuit un condensateur de capacité convenable qui réduit la self-induction et l'intensité du courant.

La Société des Ateliers d'Oerlikon a fait quelques expériences sur un moteur asynchrone à courants triphasés, à 1730 volts, couplage en étoile, installé dans une filature. Ce moteur était à 18 pôles et fonctionnait à la fréquence de 50 périodes par seconde, en tournant à la vitesse angulaire de 320 tours par minute. Les courbes ci-jointes (Fig. 152 bis) montrent les résultats obtenus. L'intensité de courant est donnée pour un circuit en fonction de la puissance utile sur l'arbre. Le facteur de puis-

sance passe par une série de valeurs depuis 0,15 à vide, jusqu'à un maximum de 0,85 pour 66 kw, et décroît ensuite légèrement pour atteindre 0,84 à la puissance

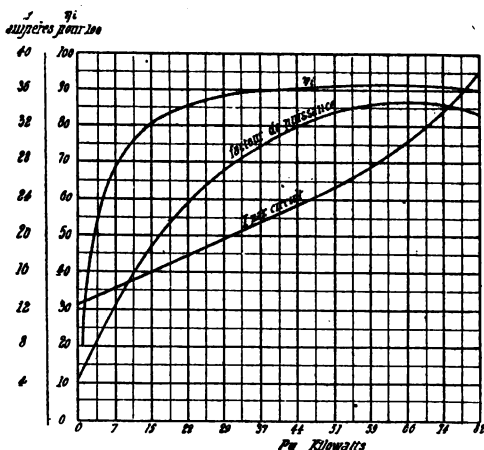


Fig. 152 *bis*. — Courbes de fonctionnement d'un moteur asynchrone à courants triphasés à 18 pôles de 74 kw à 1730 volts.

maxima de 74 kw. Le rendement industriel monte très rapidement, atteint 0,85 à 22 kw, 0,90 à 44 kw et se maintient sensiblement à cette valeur pour des puissances utiles supérieures.

La Société des Ateliers d'Oerlikon a tiré quelques conclusions comparatives des essais effectués sur un moteur synchrone monophasé de 59 kw utiles et sur un moteur asynchrone triphasé de 74 kilowatts, sortis tous deux de ses ateliers. Nous avons déjà donné plus haut les résultats de chacune des expériences. Les conclusions sont les suivantes : Le facteur de puissance est à toutes les charges plus élevé pour le moteur synchrone que pour le moteur asynchrone. A pleine charge,

ce facteur est de 0,94 pour le moteur synchrone et de 0,86 pour le moteur asynchrone. Le rendement industriel du moteur asynchrone est de beaucoup plus satisfaisant. Il croît d'abord plus rapidement et atteint une valeur de 0,80 pour une puissance utile de 15 kilowatts, soit à 1/5 de sa charge, et passe bientôt à 0,90 et se maintient à 0,91 pour la puissance utile maxima de 74 kw. Pour le moteur synchrone, à 1/5 de charge, le rendement industriel n'est que de 0,60, et, à la puissance utile maxima (59 kw), il n'atteint que 0,86. L'écart est fort grand entre les résultats fournis par les deux moteurs, bien que la puissance maxima des 2 appareils ne soit pas très différente (59 kw dans un cas, et 74 kw dans l'autre).

3° *Dispositions pour couplages.*

α. Dispositions générales.

Les dispositions pour couplages avec les moteurs à courants polyphasés ne sont pas nombreuses. Elles consistent uniquement à faire varier, au moment du démarrage, la résistance du circuit induit.

Au début, les extrémités de l'induit étaient reliées à des bagues portées sur l'arbre; sur ces bagues frottaient des lames qui étaient reliées à une résistance extérieure. Dans les modèles actuels, on a supprimé ce dispositif; les extrémités des résistances extérieures aboutissent à des lames que l'on peut mettre en circuit à volonté, comme nous l'avons déjà dit plus haut.

Dans quelques dispositifs même, on ne fait pas varier la résistance de l'induit. Nous allons citer à ce sujet divers exemples.

Dans l'installation des moteurs à courants diphasés de Noisiel, M. Boucherot a choisi comme appareil de démarrage des bobines de self-induction (Fig. 153) A et B que l'on branche en dérivation sur chacun des circuits I et II. Des prises de courant 1, 2, 3, 4 permettent de faire varier la résistance en choisissant la valeur qui convient à un démarrage suffisamment rapide. Quand le moteur est en marche, à une vitesse angulaire convenable, l'appareil de démarrage est mis hors circuit.

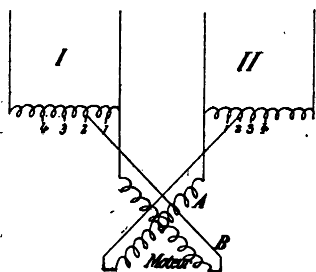


Fig. 153. — Dispositif pour le démarrage de moteurs à courants diphasés.

Pour les moteurs à courants diphasés on emploie également les boîtes d'induction, que nous avons signalées pour le démarrage des moteurs monophasés de la Cie Electromécanique (Brown et Co). L'appareil est formé de deux bobines séparées enroulées sur un noyau de fer et plongées dans l'huile; chaque bobine est divisée en plusieurs parties et pourvue de contacts extérieurs. Pour les courants diphasés, chaque bobine est branchée en dérivation sur un circuit. Les bobines agissent par self-induction; mais l'induction mutuelle des deux bobines intervient également. On peut ainsi diminuer l'intensité au moment du démarrage, intensité qui pourrait parfois atteindre des valeurs dangereuses. On se contente parfois d'introduire ces résistances dans les circuits inducteurs, lorsque l'induit est mobile.

Une disposition différente a été employée dans l'installation des mines de Decize dont nous avons parlé plus

haut. Les induits sont formés par deux enroulements distincts composés chacun de huit bobines, enroulées alternativement à droite et à gauche en faisant le tour de l'armature. Il est nécessaire qu'au moment du démarrage, les grandes vitesses angulaires du champ et de l'armature ne puissent déterminer dans celle-ci l'induction de courants trop élevés. On atteint ce but en intercalant une résistance variable dans chacun des deux circuits de l'armature. A cet effet, des quatre extrémités des bobines, deux sont réunies à une même bague à frotteur montée sur l'arbre et les deux autres à deux bagues distinctes. A ces bagues aboutissent les fils de deux rhéostats liquides. Ces dispositifs, d'après les expériences de MM. Schneider et Cie, aux usines du Creusot, assurent un démarrage presque instantané à vide ou avec une faible charge. La vitesse de régime qui à vide diffère de moins de 1 pour 100 de celle du synchronisme, lui est inférieure de 2,5 pour 100 à demi-charge, et à pleine charge de 5 pour 100 environ. Les courants induits dans les circuits de l'armature représentent près de 5 pour 100 de la puissance fournie par le moteur.

Le démarrage des moteurs à courants polyphasés synchrones présente certaines particularités. Nous avons vu que ces moteurs doivent employer des courants continus pour alimenter le circuit inducteur. La société *L'Eclairage électrique* avait exposé à Lyon un moteur à courants diphasés synchrone de dix chevaux. On sait que ces moteurs possèdent la propriété de démarrer avant que le circuit inducteur soit parcouru par un courant continu. La Fig. 154 représente la vue d'ensemble du moteur; une dynamo à courants continus est montée sur le même arbre que le moteur à courants polyphasés.

Les inducteurs du moteur sont formés par huit pièces polaires radiales en fer portées sur un anneau extérieur. L'induit est un tambour plat, présentant un certain nombre de dents, dans lesquelles sont logées les bobines des

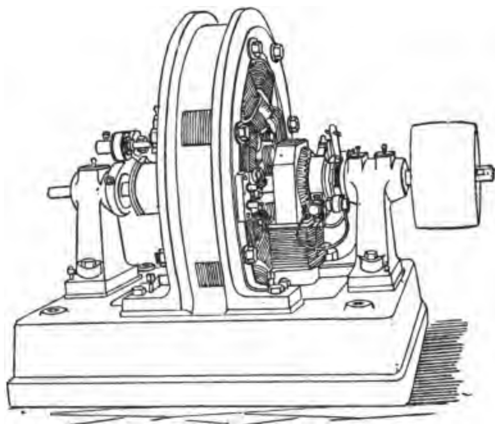


Fig. 154. — Vue d'ensemble du moteur à courants diphasés synchrone de 10 chevaux de la Société *L'Eclairage electrique.*

enroulements diphasés. Les extrémités de ces enroulements aboutissent à trois bagues montées sur l'arbre. Pour la mise en marche de ce moteur on ferme d'abord le circuit inducteur sur lui-même; on place ensuite des bobines de self-induction dans les circuits induits, et l'on établit la communication avec les câbles d'arrivée des courants diphasés. On tourne légèrement à la main la poulie du moteur et celui-ci démarre facilement.

4° *Modèles divers.*

Les modèles de moteurs à courants polyphasés sont aujourd'hui très nombreux et atteignent des puissances

très élevées. On se souvient du reste qu'en 1893, à l'Exposition de Chicago, la Cie Westinghouse avait exposé des moteurs Tesla diphasés de 500 chevaux.

Nous représentons ci-dessous quelques-uns des modèles actuels et nous donnons dans le tableau des deux pages suivantes quelques constantes de construction avec renseignements divers.

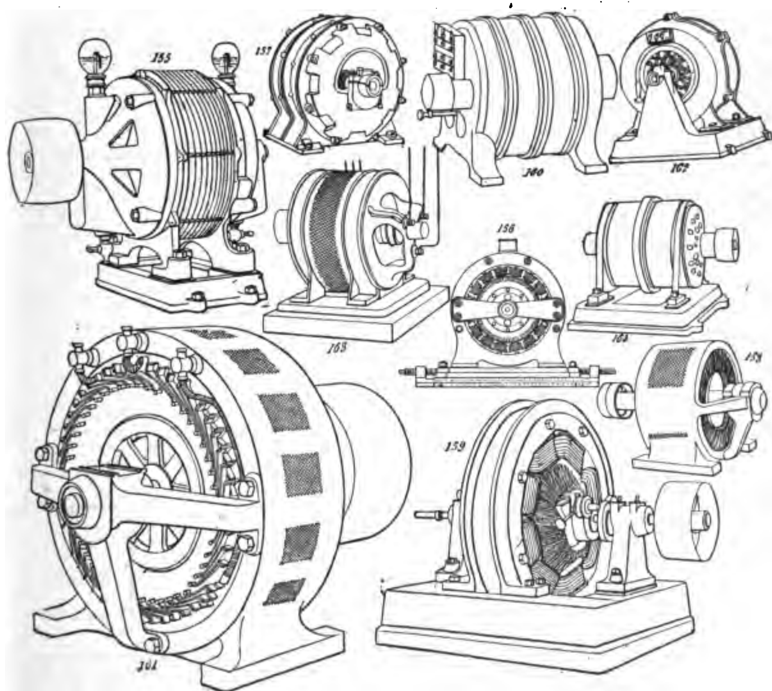


Fig. 155 à 164. — Modèles divers de moteurs à courants triphasés.

NOMS	TYPES	FIGURES	PUISSANCE	FRÉQUENCE	VOLTS	TOURS PAR MINUTE	POIDS
Schneider et Cie (Creusot).	Moteurs à courants diphasés à induit fermé mobile.	Fig. 155.	de 0,368 à 4,4 kw (type A).	42 périodes : sec.	110 volts	1150 à 800	»
	Moteurs Tesla. .	Fig. 156.	7,36 kw (type B). 14,7 à 22 kw	— —	110 volts 2 000 volts	790 790 à 600	» »
Brown, Boveri et Cie, Cie Électro-mécanique à Paris.	Moteurs à courants di et triphasés.	Fig. 157.	de 0,185 à 110 kw	—	110 volts	de 1200 à 480	de 15 à 520 kg
Cie de Fives-Lille	Moteurs à courants triphasés	Fig. 158.	de 0.046 à 22 kw de 0,092 à 22 kw	50 périodes : sec. —	110 volts entre 2 conducteurs	de 2700 à 320 de 1425 à 320	de 20 à 1500 kg de 20 à 1500 kg
Société L'Éclairage électrique	Moteurs diphasés synchrones.	Fig. 159.	de 7,36 à 200 kw	—	110 volts	de 800 à 200	»
Société française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. (Postel-Vinay)	Moteurs à courants triphasés.	Fig. 160. V. aussi fig. 127.	de 0,736 à 500 kw	—	110 à 2500 volts	de 1800 à 100	de 80 à 50000 kg

					INTENSITÉ dans CHAQUE CIRCUIT en ampères				
					à 110 volts	à 190 volts			
Allgemeine Elecktricitæts Gesellschaft.	Moteurs à courants triphasés.	Fig. 161.	de 0,115 à 0,300 kw	50 périodes par sec.	1,3 à 3,4	1,2 à 2	2 pôles	de 2700 à 1425	de 8 à 45 kg
			de 0,530 à 1 kw	—	4,3 à 8	2,5 à 5,2	4 pôles	1425	de 68 à 95 kg
			de 1,8 à 2,7 kw	—	14 à 20	8 à 12	4 pôles	1425	de 125 à 155 kg
			de 4,4 à 25,1 kw	—	36 à 160	21 à 90	4 pôles	de 1425 à 320	de 260 à 1400 kg
			de 41,3 à 61,4 kw	—	—	148 à 220	8 pôles	300	de 1500 à 2250 kg
			82 kw	—	—	295	8 pôles	480	2800 kg
Maschinenfabrik Oerlikon.	Moteurs à courants triphasés à induit fermé. couplés en étoile.	Fig. 162.	de 0,325 à 10,4 kw	50 périodes : sec.	60 volts entre chacun des fils et le fil neutre. 100 volts			de 1320 à 900	de 42 à 421 kg
Siemens et Halske.	Moteurs à courants triphasés.	Fig. 163.	de 0,368 à 14,7 kw	»	»			»	»
Stanley Electric Co.	Moteurs à double champ alternatif à induit fermé.	Fig. 164.	de 0,750 à 36,8 kw	133 périodes : sec.	500 volts			de 2200 à 1800	de 70 à 340 kg

E. **Conditions d'installation.**

Dans ce chapitre, nous ne voulons pas nous occuper des conditions d'emplacement d'un moteur ni des dispositions à prendre, dispositions qui peuvent être des plus variables suivant les circonstances. Nous ferons toutefois remarquer que les moteurs électriques offrent toutes facilités pour leur installation. Ils sont d'un volume très restreint, d'un faible poids, et peuvent être très bien placés sur des planches, des consoles ou tout autre support. C'est encore un nouvel avantage à ajouter à ceux que nous avons déjà étudiés.

Nous examinerons maintenant les dispositions électriques qu'il convient d'adopter dans les différents cas. Nous indiquerons les dispositions théoriques et complètes; il est bien évident qu'en pratique il sera facile de supprimer tel ou tel appareil ou de le remplacer par un appareil plus approprié aux besoins.

Nous étudierons successivement :

1° Schéma d'une installation de moteur sur courants continus à 2, 3, et 5 fils.

2° Schéma d'une installation de moteur sur courants alternatifs simples à champ constant, à champ alternatif et à champ tournant au démarrage.

3° Schéma d'une installation de moteur sur courants polyphasés (diphasés, triphasés, di et tri-phasés et diphasés-triphasés-alternatifs simples).

1° *Installation de moteur sur courants continus à 2, 3 et 5 fils.*

Prenons d'abord le cas général d'installation d'un mo-

teur à courants continus sur une distribution à deux fils.

Nous avons en A (Fig. 165) la canalisation extérieure, en B l'épissure de jonction et le branchement, en C le coffret extérieur à la devanture de la maison,

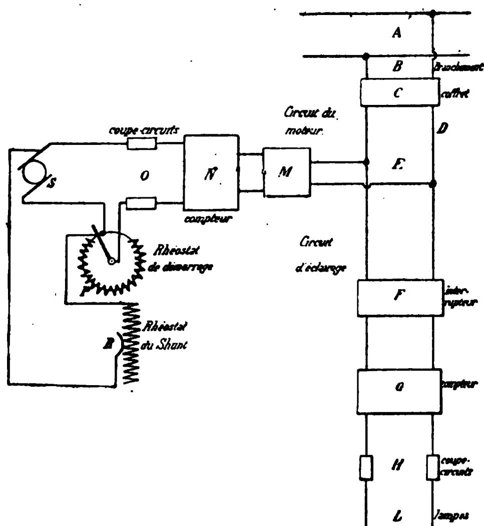


Fig. 165. — Schéma d'une installation de moteur à courants continus sur distribution à deux fils.

en D la canalisation pénétrant à l'intérieur et arrivant au tableau E de distribution. Celui-ci porte un interrupteur bipolaire F, un compteur G, des coupe-circuits H et un circuit L qui dessert les circuits de lumière. En M se trouve un autre interrupteur pour le circuit spécial qui va alimenter notre moteur; en N est un second compteur, uniquement destiné à enregistrer les consommations d'énergie électrique du moteur. Dans plusieurs installations, on s'est contenté de mettre un

seul compteur pour la lumière et la force motrice; mais le cahier des charges des secteurs de la ville de Paris de 1888 spécifie, quoique peu nettement, la distinction entre les deux consommations (art. 13, p. 6). La dépense de location du compteur sera plus grande; mais elle sera vite compensée par les économies réalisées sur la consommation. En O sont les coupe-circuits, en P le rhéostat de démarrage, en R le rhéostat du shunt, et en S le collecteur du moteur. Nous avons pris le cas de l'installation d'un moteur-shunt; car il est facile de passer de cette installation à celle d'un moteur-série. Nous avons représenté dans la Fig. 166 le détail du rhéostat de démarrage. Celui-ci est formé d'une série de résistances A, B, C, D, avec des plots de contact E, F, G, H sur lesquels peut venir se poser un levier L mobile autour d'un point central O. Ce levier L porte un contact N, et vient se fixer contre une buttée K; il ne peut se déplacer que dans le sens indiqué par la flèche. Si nous faisons avancer ce levier en le prenant par la poignée P, en passant il déclenchera en M un autre levier, qui fermera le circuit d'excitation du shunt, et ensuite le levier L viendra sur le contact E pour fermer le circuit général. On remarquera que cette disposition a pour but d'exciter le moteur avant la fermeture du circuit de l'induit (les distances sont établies à cet effet); de la sorte, dès que le courant traversera l'induit, celui-ci produira une force contre-

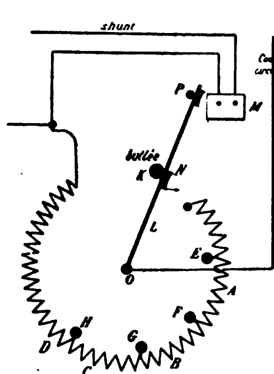


Fig. 166. — Détail du rhéostat de démarrage.

électromotrice qui s'opposera à ce que l'intensité prenne une valeur trop grande. On remarquera aussi que, dès que le circuit est fermé sur l'induit, la résistance du rhéostat est maxima. En pratique le rhéostat ne porte

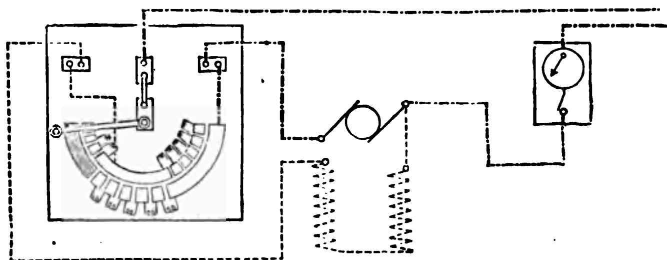


Fig. 166 *bis*. — Diagramme de couplage d'un moteur shunt (A. E. G. de Berlin).

que trois ou quatre touches et se trouve réglé pour le démarrage, grande et petite vitesse.

La figure 166 bis nous montre le schéma de couplage d'un moteur-shunt adopté par l'*Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft*, et qui est basé sur le même principe. La figure 166 ter donne la vue extérieure de cet appareil et laisse voir la manette de réglage.



Fig. 166 *ter*. — Vue extérieure de l'appareil de couplage précédent.

Les mêmes dispositions sont prises pour l'établissement des moteurs à trois et à cinq fils. Dans quelques installations, un abonné peut avoir à la fois un éclairage sur une différence de potentiel de 110 volts et un moteur sur 220 ou 440 volts (Fig. 167 et 168). Il est avantageux en effet pour les moteurs d'employer une

différence de potentiel plus élevée; car on évite des intensités très élevées au démarrage.

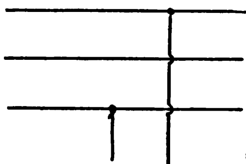


Fig. 167. — Disposition de branchement à trois fils.

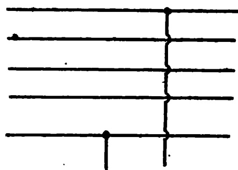


Fig. 168. — Disposition de branchement à 5 fils.

2° *Installation de moteur sur courants alternatifs simples.*

Dans l'installation d'un moteur à courants alternatifs simples et à champ constant (Fig. 169), nous trouvons en A la canalisation extérieure, en B la jonction dans une boîte spéciale, en C les coupe-circuits établis chez l'abonné dans une armoire ou pièce spéciale à la cave, et en D le transformateur. Deux circuits partent du secondaire, l'un avec l'interrupteur bipolaire F, le compteur G, le coupe-circuit H, pour le

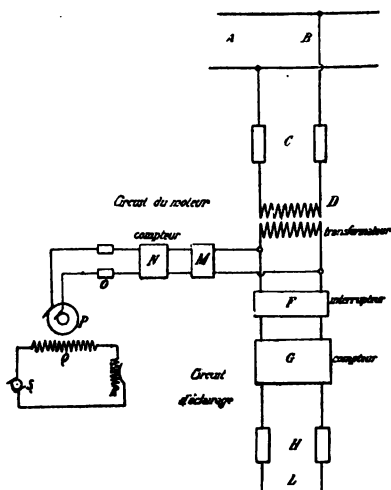


Fig. 169. — Diagramme de l'installation d'un moteur sur courants alternatifs simples.

circuit de lumière L, et l'autre avec l'interrupteur M,

le compteur N, les coupe-circuits O et le moteur P pour la force motrice. Le champ du moteur est fourni par un inducteur Q alimenté par une source S à courants continus; R est un rhéostat. Nous n'insistons pas sur ce cas spécial qui exige des dispositions particulières que nous avons déjà vues pour le démarrage et la mise en synchronisme.

En ce qui concerne les moteurs à courants alternatifs simples à inducteurs et induits en dérivation, nous n'avons rien à indiquer, et nous arrivons de suite aux moteurs à induit fermé.

Pour les moteurs à induit fermé et à champ tournant, au démarrage nous employons les dispositions suivantes.

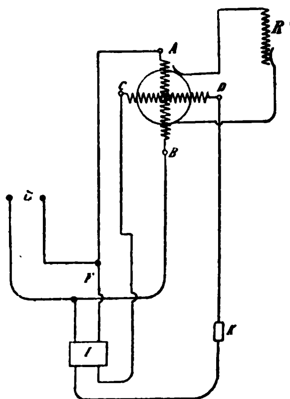


Fig. 170. — Schéma de couplage à courants alternatifs simples.

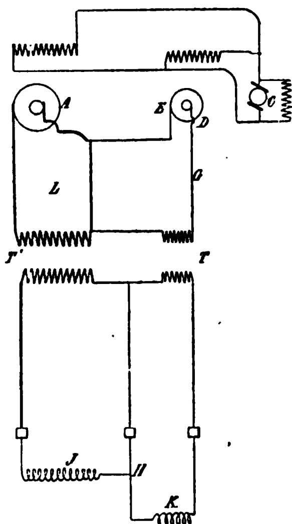


Fig. 170 *bis*. — Autre schéma de couplage pour moteurs à courants alternatifs simples.

On réglait autrefois la résistance de l'induit au démarrage. De la sortie E (Fig. 170) de la canalisation partait

un circuit alimentant un enroulement A B du moteur ; en F était une dérivation avec un interrupteur I alimentant l'enroulement C D avec un appareil auxiliaire en circuit K (condensateur, bobine de self-induction, etc.). Aux bornes de l'induit se trouvait un rhéostat variable R. Au moment de la mise en route l'interrupteur I était fermé, la résistance R placée au maximum. Quand la vitesse normale était atteinte, la résistance du rhéostat R était diminuée, et l'interrupteur I ouvert.

Actuellement, on ne fait plus varier la résistance aux bornes de l'induit. On se contente de mettre en dérivation l'enroulement supplémentaire.

On a trois positions distinctes d'un levier interrupteur correspondant à l'arrêt, au démarrage et à la marche normale.

Nous avons vu aussi plus haut en détail les dispositions prises pour les moteurs Brown, avec emploi de bobines de self et de capacités, ainsi que pour le couplage en quantité des circuits après démarrage.

Dans l'installation des moteurs à courants alternatifs simples, au lieu d'employer sur place les appareils de démarrage dont nous avons parlé, on peut avoir recours à la disposition suivante qui a été utilisée déjà dans plusieurs distributions (Fig. 171). Un alternateur A effectue la distribution de l'énergie électrique sur une ligne L. Chez un abonné se trouve un transformateur T dont le circuit secondaire alimente le circuit inducteur d'un moteur M. A l'usine est disposé un second alternateur A′ de faible puissance desservant une ligne L′. Cet alternateur produit un courant déphasé de 90° sur le courant produit par le premier alternateur A. Une dérivation B est prise pour alimenter le second circuit C des inducteurs au

démarrage. Après la mise en route du moteur, il est supprimé. La seconde ligne de distribution L′ peut être établie dans des conditions très économiques, attendu qu'elle ne sert que rarement et pendant de faibles durées. Elle peut donc supporter des intensités assez élevées. On se contente alors de consentir à une perte en ligne convenable, sans établir de transformateurs. On a cependant cherché aussi à utiliser un fil commun aux

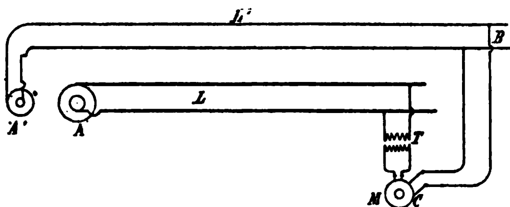


Fig. 171. — Diagramme de couplage avec circuit auxiliaire.

2 circuits ; il est alors nécessaire d'installer deux transformateurs. On peut aussi établir ce deuxième alternateur dans des sous-stations de distribution réparties aux points mêmes d'utilisation. Toutes ces considérations sont à examiner dans l'établissement des distributions pour force motrice.

Il y a peu de temps, la *General Electric Company* faisait décrire dans les journaux américains un nouveau système de distribution par courants alternatifs, auquel elle donnait le nom de *monocyclic System*. Le schéma de la figure 171 bis en représente les dispositions essentielles. A la station centrale un alternateur A alimente 2 fils de distribution B et C, sur lesquels sont branchées les dérivations ordinaires D et E desservant les transformateurs T pour l'éclairage. A l'usine se trouve également un

autre alternateur à courants triphasés qui alimente les mêmes fils B et C ainsi qu'un fil auxiliaire G. Ce dernier fil est utilisé pour alimenter un fil H relié au milieu d'un transformateur T′. Les circuits secondaires sont reliés comme le montre la figure et produisent en K et K′ deux courants diphasés qui viennent faire fonctionner le moteur M. Ce nouveau système de distribution n'est en

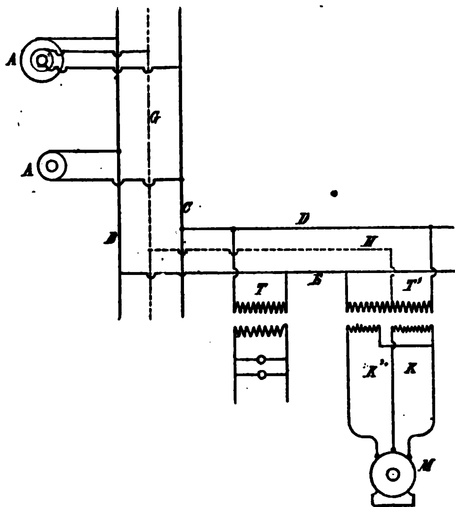


Fig. 171 *bis*. — Diagramme général du *monocyclic système* de la General Electric C°.

réalité qu'une distribution par courants alternatifs simples, avec un 3ᵉ fil qui permet à volonté la distribution de courants triphasés. Pour l'emploi des moteurs, on utilise des transformateurs de courants tri en diphasés.

M. Ernst Schulz a fait connaître récemment dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* les dispositions employées par la *Deutsche Elektricitæts Werke* d'Aix-la-Chapelle

pour la distribution simultanée de force motrice et de lumière par courants alternatifs simples (fig. 170 bis). A la station centrale un alternateur A porte sur le même arbre ou commande par engrenages une dynamo D pourvue d'un collecteur C, qui donne du courant continu, et de deux bagues E qui permettent de recueillir également du courant alternatif. L'alternateur A a une puissance de 150 kilowatts ; on recueille en E environ 3 kw en courants alternatifs simples déphasés de 90° par rapport au courant de l'alternateur principal A. M. Schultz estime en effet que, sur 150 kw, 120 sont utilisés pour l'éclairage et 30 pour la force motrice. La puissance de 3 kw est suffisante pour le démarrage. Le courant continu sert à l'excitation des inducteurs des 2 machines. Nous avons représenté dans la figure le schéma de la distribution que nous avons établi d'après les données de M. Schulz ; cet ingénieur n'avait en effet représenté que les circuits sans transformateurs. La ligne principale L dessert un transformateur dont le circuit secondaire peut alimenter des appareils d'éclairage et un circuit inducteur du moteur. Au départ un fil F communique avec une des bagues de l'alternateur E. L'autre bague est reliée à un fil G qui aboutit à l'extrémité d'un transformateur. Ce dernier et le précédent transformateur sont reliés ensemble en tension pour ne former qu'un appareil avec un fil commun au centre. Les circuits secondaires sont également couplés en tension avec un fil commun H au centre. Deux circuits alimentent les circuits inducteurs que l'on aperçoit en J et K. Ces deux circuits sont utilisés au moment du démarrage, et ensuite le circuit auxiliaire est supprimé. Si on veut éviter de laisser à la disposition de l'abonné le circuit à haute tension, on peut fermer le circuit

auxiliaire primaire ; mais la dépense à circuit ouvert est peu importante. Nous retombons du reste dans la question déjà si controversée de savoir s'il est préférable dans une distribution par courants alternatifs de laisser l'abonné couper le courant primaire ou s'il vaut mieux consentir à la perte dans les transformateurs à circuit ouvert et éviter des accidents qui pourraient être graves.

La disposition de M. Schulz nous paraît intéressante et mérite de fixer l'attention. Nous ne pourrions dire encore si elle est préférable à la disposition simple avec appareils de démarrage, car elle nécessite un alternateur de faible puissance, une ligne auxiliaire et un transformateur particulier.

3° *Installation de moteurs sur courants polyphasés.*

L'installation des moteurs à courants polyphasés ne présente pas grandes difficultés. Pour un moteur à courants diphasés (Fig. 172), nous avons deux circuits A et B avec des interrupteurs ; quelquefois on emploie un fil commun. Nous supposons encore ici l'induit fermé sans résistance extérieure. Nous avons indiqué plus haut le mode de couplage de bobines de self-induction sur chaque circuit pour le démarrage, d'après les dispositions employées à Noisiel par M. Boucherot.

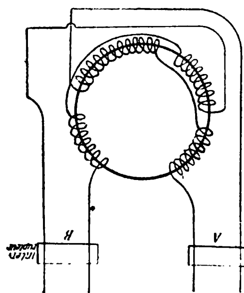


Fig. 172. — Schéma d'un moteur a courants diphasés.

Les courants triphasés demandent trois lignes. Nous représentons (Fig. 173) le schéma de couplage d'un mo-

teur à courants triphasés adopté par la Cie Siemens et

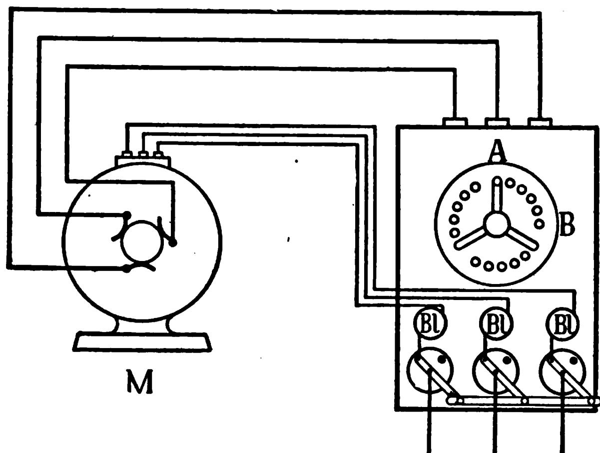


Fig. 173. — Couplage d'un moteur triphasé (Société Siemens et Halske).

Halske, de Berlin. On voit les interrupteurs et les coupe-circuits sur les lignes d'arrivée au moteur M. Des résistances extérieures peuvent être branchées aux bornes de l'induit. En A le moteur est hors circuit, en B le moteur est en circuit. La Fig. 174 représente l'aspect extérieur de l'appareil de couplage.



Fig. 174. — Aspect extérieur de l'appareil de couplage pour moteurs à courants triphasés.

Nous donnons dans la Fig. 175 le schéma général de la distribution à courants triphasés installée à Erding, en Bavière, par la

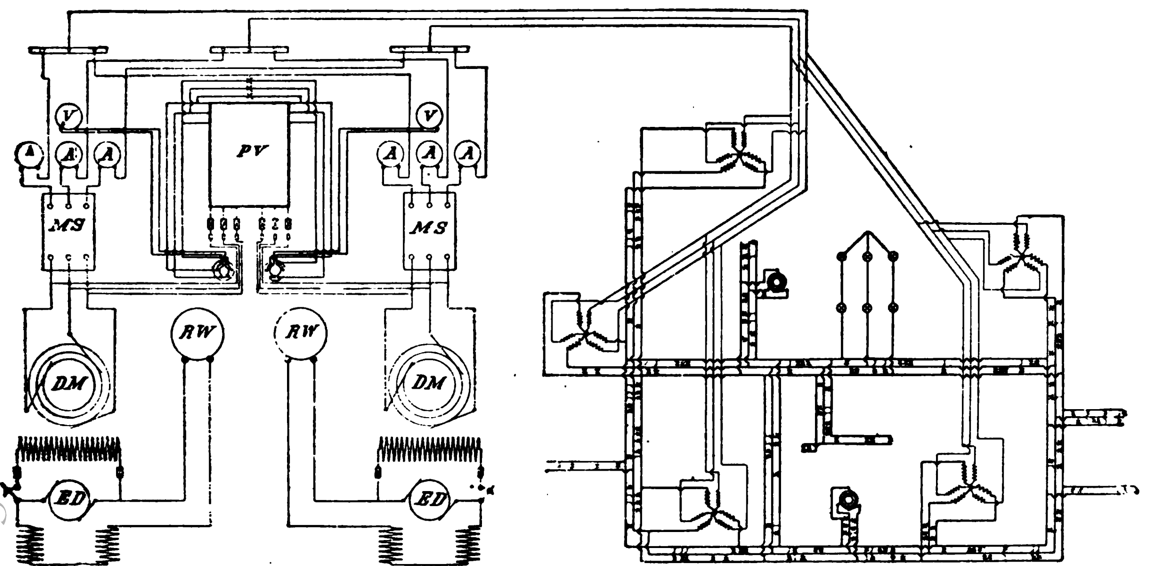


Fig. 175. — Schéma général de distribution à courants triphasés d'Erding. (Lumière et force motrice.)

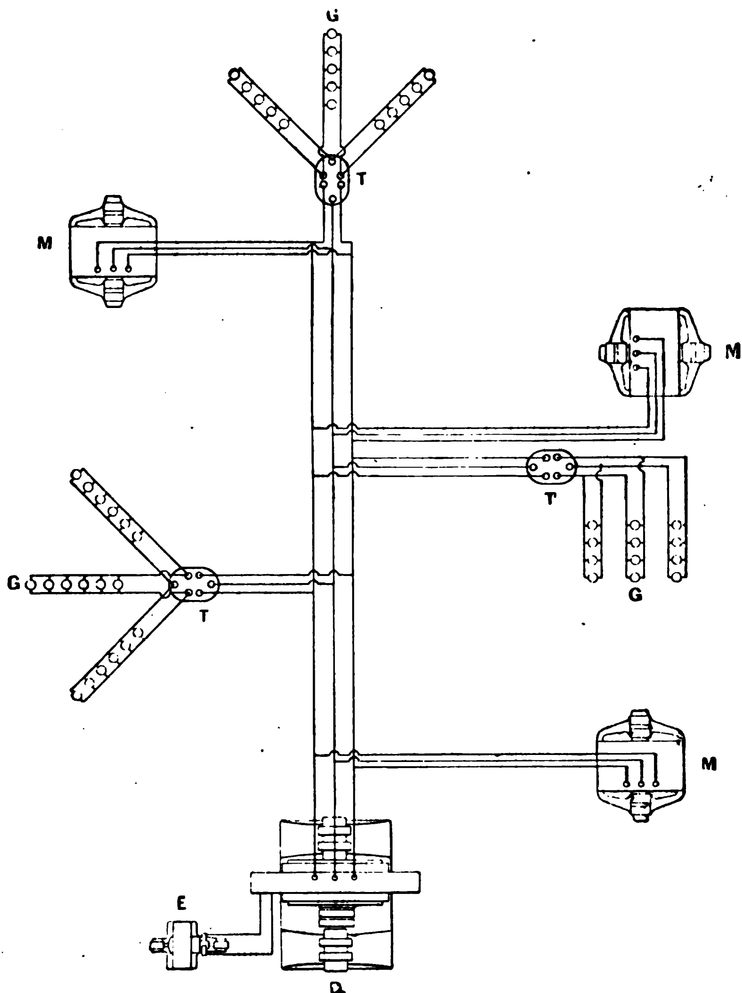


Fig. 175 *bis*. — Schéma général de distribution à courants triphasés (*Allg. Elekt. Gesellschaft.*).

même maison Siemens et Halske pour la distribution de lumière et de force motrice. On voit à gauche l'usine génératrice avec les dynamos excitatrices E D, les rhéostats de réglage R W, les dynamos à courants triphasés DM, les commutateurs avec coupe-circuits M S, les indicateurs de courant A,A,A, les voltmètres V, V, et les indicateurs de phase P V. A droite, on distingue le circuit général primaire de distribution à haute tension avec feeders, les transformateurs, et les circuits secondaires couplés en quantité. On aperçoit au milieu un moteur branché sur un circuit de lampes.

La Figure 175 bis est un montage du même genre qui est employé par l'*Allg. Elekt. Gesellschaft.*

La Fig. 176 représente le couplage général d'une distribution à courants diphasés alimentant des moteurs à

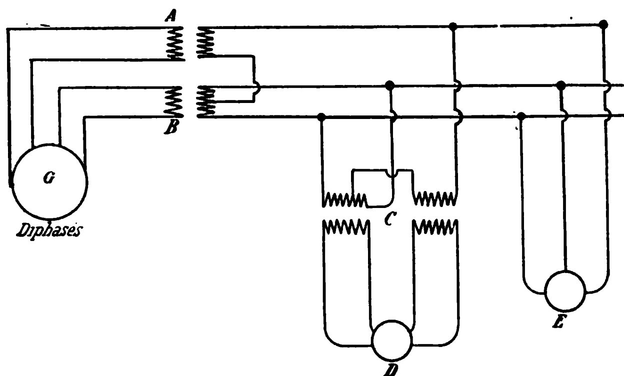


Fig. 176. — Installation de moteurs à courants di et triphasés.

courants di et triphasés. En G est le générateur, en A et B des transformateurs de courants di en courants tri-

phasés. A l'arrivée en C sont des transformateurs de courants tri en courants diphasés pour desservir le moteur D à courants diphasés. Enfin en E est un moteur à courants triphasés.

Le cas s'est présenté où l'on a eu à alimenter à la fois des moteurs à courants diphasés et à courants alternatifs simples. Le schéma (Fig. 177) représente la disposition donnée par la maison Ganz et Cie. En ABC sont les trois fils de ligne alimentés par le générateur G à courants diphasés. En M est un moteur à courants diphasés et en M_1, un moteur à courants alternatifs simples; T et T_1, sont les transformateurs. Nous n'avons pas représenté pour ce dernier moteur les deux enroulements nécessaires.

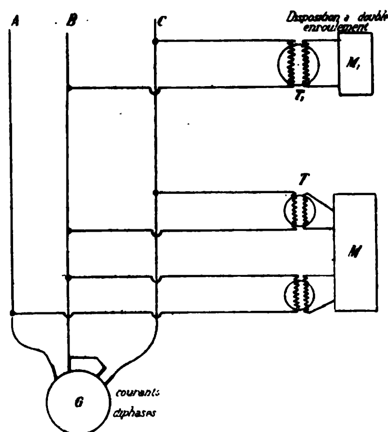


Fig. 177. — Installation de moteurs à courants diphasés et à courants alternatifs simples.

Il serait possible, avec cette distribution, d'alimenter également des moteurs à courants triphasés, en adoptant les dispositions de la figure précédente.

L'examen de ces quelques dispositions d'installation suffit pour convaincre qu'il n'est pas de problème d'utilisation de force motrice auquel on ne puisse trouver une solution électrique.

F. Conditions d'Exploitation. Entretien.

Les conditions nécessaires pour une bonne exploitation sont évidemment un bon fonctionnement, et par cette désignation nous entendons une bonne mise en route, un démarrage satisfaisant, une bonne marche, et un arrêt dans de bonnes conditions.

La mise en route ou démarrage exige certaines précautions et certaines manœuvres que nous avons étudiées en détail dans divers chapitres à la suite des moteurs à courants continus, alternatifs ou polyphasés. Nous recommanderons maintenant de bien observer ces diverses précautions, et surtout de ne pas mettre sur les moteurs, principalement à courants continus, des charges trop brusques et d'éviter des décharges trop rapides.

Pendant la marche, on s'efforcera de surveiller l'échauffement des inducteurs et de régler toujours convenablement les balais pour éviter les étincelles dans les moteurs à courants continus. La marche devra toujours être aussi régulière que possible.

L'arrêt d'un moteur se fera sans aucune difficulté à l'aide des manœuvres que nous avons indiquées.

Le bon entretien d'un moteur exige une propreté absolue, quel que soit le milieu dans lequel on se trouve. Si le moteur est installé dans un local rempli de poussières ou de matières en suspension dans l'air, il devra être garanti par une caisse ou autre disposition. On évitera de laisser sur les inducteurs, l'induit et surtout le bâtis le cambouis, les taches d'huile, etc.

Il sera bon de vérifier de temps à autre l'isolement des inducteurs et de l'induit par rapport à la masse.

Le collecteur des moteurs à courants continus devra être surveillé tout particulièrement ; il devra constamment être très propre, frotté avec du papier de verre à chaque arrêt ou le soir après le service. Les étincelles aux balais seront évitées, comme nous l'avons dit plus haut, pour diminuer l'usure. Mais les balais devront pouvoir se déplacer longitudinalement sur le collecteur pour éviter de creuser des sillons en certains endroits. Un collecteur bien entretenu peut durer quelques années. Mais au bout de ce laps de temps, il sera nécessaire de le faire tourner de nouveau, ou de le remplacer suivant l'épaisseur des lames.

Les soins devront être portés également sur le graissage qui ne sera ni trop abondant ni trop minime. L'huile sera de bonne qualité (huile ordinaire pour dynamos et transmissions). Les graisseurs seront visibles de façon à permettre de s'assurer toujours, pendant la marche, qu'ils sont remplis. On peut estimer pour le graissage une consommation variable de 1 à 5 grammes d'huile par kwh utile suivant les cas ; c'est donc une dépense de 0,06 à 0,30 centime avec une huile valant 60 francs les 100 kilog.

Nous ajouterons aussi que les transmissions (poulies,

courroies, câbles, etc.) devront être surveillées et bien entretenues ; mais ce n'est pas ici la place de traiter ce sujet.

On s'est quelquefois plaint également du bruit que causaient les moteurs, particulièrement les moteurs à courants alternatifs. Il est très vrai que ces derniers surtout au démarrage produisent un bruit strident, désagréable. Mais il est facile de l'éviter en faisant régulièrement toutes les manœuvres du démarrage ; et en tous cas, il ne peut durer que quelques minutes au plus.

CHAPITRE III

APPLICATIONS MÉCANIQUES DIVERSES DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

GÉNÉRALITÉS

Il convient maintenant d'étudier en détail les diverses applications mécaniques qui peuvent être réalisées à l'aide de l'énergie électrique. Cette étude comprend naturellement deux parties :

1° L'étude des appareils ou engins industriels;
2° L'étude des installations proprement dites.

En ce qui concerne les installations proprement dites, nous avons indiqué les conditions pour leur établissement sur réseaux de distribution ; en pratique ces conditions peuvent varier, mais elles ne diffèrent pas sensiblement de celles que nous avons mentionnées. Dans quelques cas d'installations particulières cependant, les conditions peuvent offrir certains points de vue qu'il est utile d'examiner en détail : aussi nous réservons-nous de traiter spécialement cette question dans un autre grand chapitre, qui fera l'objet d'un deuxième volume.

Il nous reste donc à étudier ici les appareils ou engins industriels en général qui peuvent être utilisés pour les applications mécaniques de l'énergie électrique. On ne saurait donner une énumération ou une description complète de toutes ces machines industrielles. En principe, il n'est pas trop osé d'affirmer que l'énergie électrique peut être employée pour toute application; l'appareil utilisé

devra seulement subir dans chaque cas les transformations nécessaires.

Quand on parle aujourd'hui des applications mécaniques de l'énergie électrique, on ne manque pas d'ajouter qu'elles sont innombrables et des plus intéressantes. Mais si l'on veut aller plus au fond de la question, on ne peut que citer l'exemple de ventilateurs, de pompes, etc. La vérité est que les applications de ce genre sont encore peu connues, et nous avons eu des preuves de cette profonde ignorance en bien des circonstances.

Il nous semble donc important et même nécessaire de fixer nettement les idées par quelques exemples déjà réalisés. Quelques industriels essaient une application, d'autres une autre ; de nouveaux besoins se présentent dans une installation, c'est un nouveau problème à résoudre après tant d'autres. C'est en groupant toutes ces applications et en examinant soigneusement les résultats acquis que l'industrie s'édifie peu à peu, lentement mais avec certitude.

Nous avons fait une longue étude des applications déjà réalisées et ayant donné des résultats satisfaisants ; nous avons aussi cherché de tous côtés les descriptions des machines employées ; et en visitant un grand nombre d'installations nous avons pu enfin, après de longues et patientes recherches, former un dossier assez important. Nous allons passer en revue toutes les feuilles de ce dossier en adoptant l'ordre suivant, qui nous a semblé dans l'espèce le plus logique et le plus approprié.

DIVISIONS GÉNÉRALES

A. **Transmissions dans usines et ateliers.**
B. **Machines-outils.**
C. **Ascenseurs.**

D. **Monte-charges.**
E. **Ventilateurs.**
F. **Treuils, grues et cabestans.**
G. **Pompes à eau.**
H. **Ponts roulants.**
I. **Machines pour usages domestiques.**
J. **Machines diverses.**

A. Transmissions dans les ateliers.

1° *Principe des transmissions. Transmissions par courroies, engrenages. Transmissions électriques.*

Les transmissions en général ont une grande importance dans les ateliers. Il ne suffit pas de mettre en marche une machine à vapeur ou un moteur quelconque. Il faut encore transmettre ce mouvement aux machines-outils.

La transmission peut se faire par simple courroie placée sur la poulie motrice et sur la poulie de l'engin, par

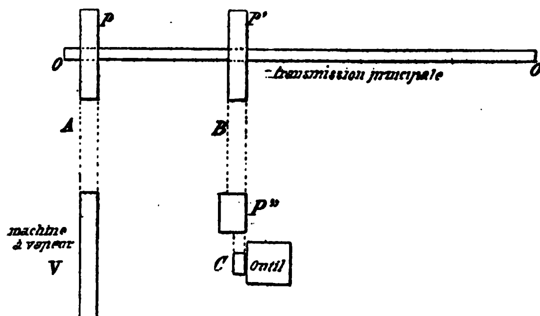


Fig. 178. — Schéma général d'une transmission par courroie dans une usine.

engrenages directs, par plateaux, etc. Dans ce cas, le moteur doit être proche de la machine à actionner.

Le plus souvent jusqu'ici les transmissions ont été ef-

fectuées à l'aide de courroies, d'arbres et de poulies convenablement disposés. La Figure 178 représente une disposition générale. Le volant V de la machine à vapeur actionne par courroie une poulie P portée sur un arbre principal de transmission, une deuxième poulie P' actionne par courroie une troisième poulie P'' et celle-ci met enfin en mouvement la machine-outil à l'aide d'une autre transmission intermédiaire. Nous avons donc en A la *transmission primaire* ou du 1er degré, en B la *transmission secondaire* ou du 2e degré, et en C la *transmission tertiaire* ou du 3e degré.

Cet exemple est choisi parmi les plus simples; mais il arrive souvent que les diverses machines à mettre en marche sont situées dans des pièces ou salles différentes, et il est nécessaire d'avoir recours à des transmissions encore plus compliquées. Il faut aussi considérer les orientations diverses des ateliers, qui sont parfois différentes. Ajoutons à cela qu'il est quelquefois nécessaire d'établir la source de force motrice à une distance plus ou moins grande pour éviter des dangers, telles les scieries, menuiseries, fabriques de cordonnets, etc. Dans divers ateliers de Paris, établis, il est vrai, il y a près de 8 à 10 ans, nous avons pu compter ainsi jusqu'à six transmissions intermédiaires. Lorsque les distances ou difficultés étaient par trop considérables, il devenait nécessaire d'établir en plusieurs endroits de l'usine des machines à vapeur de faible puissance, avec chaudières séparées ou canalisation commune de vapeur. En comptant les dépenses d'installation, d'entretien, les puissances absorbées en pure perte, les encombrements de tout genre, on peut se faire une idée du rendement industriel obtenu dans une telle installation.

Tous ces inconvénients ont évidemment frappé depuis longtemps les ingénieurs; et on a cherché à les éviter. Aussi quand on a connu les résultats des transmissions électriques de force motrice, il était tout naturel que l'on essayât ce nouveau mode de transmission, malgré les faibles rendements obtenus à l'origine. Ces valeurs quoique faibles pouvaient encore être comparées avec avantage aux valeurs trouvées dans les installations existantes. Nous verrons du reste plus loin quelques renseignements à cet égard.

On eut d'abord l'idée, quand les transmissions devaient être effectuées à distance, dans plusieurs salles, d'établir une commande pour chaque salle, et de former ainsi plu-

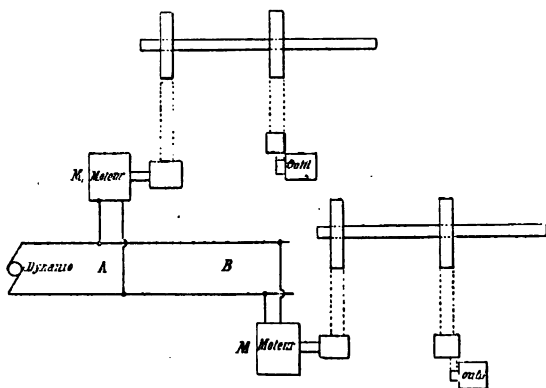


Fig. 179. — Schéma général d'une transmission électrique par groupes de moteurs.

sieurs groupes commandés chacun par un moteur électrique. La Fig. 179 représente le principe d'une telle installation. Une distribution d'énergie électrique est installée dans l'usine pour l'éclairage et la force motrice. Des moteurs électriques M et M_1 remplacent la machine

à vapeur qui existait dans le cas précédent et commandent les transmissions allant aux machines-outils. On pouvait ainsi utiliser les transmissions établies et éviter de nouvelles dépenses. Cette transmission par groupes réalise déjà de grands avantages sur les transmissions précédentes; elle supprime divers organes intermédiaires, et assure l'indépendance de chaque atelier.

On s'est enfin demandé s'il n'y aurait pas avantage à établir dans une usine une canalisation électrique A B (Fig. 180) sur laquelle seraient prises des dérivations

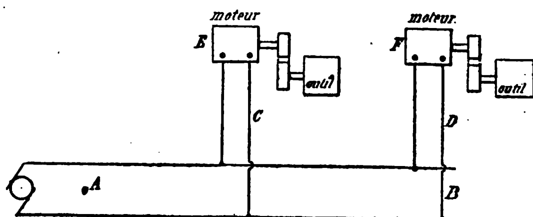


Fig. 180. — Schéma général d'une transmission électrique par moteurs de faible puissance.

C, D pour alimenter des moteurs E, F de faible puissance, commandant chacun une machine-outil. On aurait ainsi une série de machines-outils indépendantes.

2° *Rendements industriels. Avantages des transmissions électriques.*

Les transmissions électriques, par groupes ou isolées, réalisent évidemment de très grands avantages que l'on peut résumer de la façon suivante : suppression en grande partie des arbres de transmission encombrants, simplification des organes de transmission, indépendance des machines-outils, facilité de montage, possibilité d'utiliser à distance la force motrice. Tous ces avantages

sont notables et se traduisent certainement par des économies sur les dépenses d'installation, économies plus ou moins élevées suivant la nature de l'application. Mais il est une autre question, encore plus importante, que nous voulons examiner et qui a trait à l'exploitation proprement dite, aux conditions de marche.

A ce sujet, on peut se poser les questions suivantes :

1° Quels sont les rendements industriels moyens des installations électriques ?

2° Quels sont les avantages réalisés par elles sur les transmissions ordinaires par poulies, courroies ou par machines à vapeur disséminées dans les différentes parties des ateliers ?

3° En tenant compte de la durée d'utilisation des machines-outils, à puissance variable, quel est le rendement industriel annuel comparé de ces diverses transmissions ?

Ces études, qui nécessitent des mesures précises et nombreuses dans des ateliers, ont été faites depuis quelques années par diverses sociétés, notamment par l'*Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft* (1892) et par la maison Siemens et Halske de Berlin (1894). Nous analyserons succinctement les résultats obtenus par ces deux sociétés.

α. Expériences de l'Allgemeine E. Gesellschaft.

L'*Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft* a effectué dans ses ateliers et dans diverses installations un grand nombre d'expériences, en déterminant la puissance utile et la puissance consommée dans les transmissions mécaniques et électriques, à l'aide de dynamomètres et d'appareils

Exemples divers de transmission d'énergie.

I. Transmissions mécaniques	1	2	3	Moyenne	Observations
Rendement 1er degré (transmissions principales)	0,762	0,840	0,775	»	
Rendement 2e degré (transmissions secondaires)	0,683	0,835	0,915	»	
Rendement 3e degré (transmissions tertiaires)	0,395	0,860	0,930	»	
Rendement total :					
2e degré	0,521	0,700	0,710	0,644	à pleine charge.
3e degré	0,206	0,605	0,660	0,490	à pleine charge.
2e degré	0,465	0,640	0,645	0,583	aux 3/4 de la charge maxima.
2e degré	0,433	0,607	0,620	0,553	aux 2/3 —

II. Comparaison des transmissions mécaniques et électriques.	Transmissions mécaniques.	Transmissions électriques.	Économie en faveur de la transmission électrique en pour 100.	Moyenne	Observations
a Valeurs moyennes.					
Rendement total :					
2e degré	0,644	0,730	11,8	»	à pleine charge.
3e degré	0,490	0,730	32,9	»	à pleine charge.

2e degré	0,583	0,700	16,7	»	aux 3/4 de la charge maxima.
3e degré	0,553	0,680	18,7	»	aux 2/3 —
b Valeurs limites.					
Rendement total :					
2e degré	0,521 — 0,710	0,730	28,6 — 2,7	»	à pleine charge.
3e degré	0,206 — 0,660	0,730	71,8 — 9,6	»	à pleine charge.
2e degré	0,465 — 0,645	0,700	33,6 — 7,9	»	aux 3/4 de la charge maxima.
2e degré	0,433 — 0,620	0,680	36,3 — 5,9	»	aux 2,3 . —

III. Emploi de la vapeur	Machines à vapeur de faible puissance à haute pression avec conduites centrales de vapeur.	Machine à vapeur de grande puissance avec dynamo et transmission électrique.	Économie en faveur de la transmission électrique en pour 100.	Moyenne	Observations
Dépense de vapeur en kg par cheval-heure . . .	21,2 — 30,0	10,96	48,3 — 62,6	»	Ces chiffres peuvent être très variables suivant les installations.

de mesures. Une communication des plus intéressantes a été présentée par M. E. Hartmann à la Société des Ingénieurs allemands de Berlin, le 6 avril 1892. M. E. Hartmann a condensé les divers résultats dans un tableau que nous reproduisons. Nous trouvons d'abord les valeurs des rendements des transmissions mécaniques, rendement individuel ou total à 2 ou 3 degrés. Les chiffres donnés se rapportent à trois exemples : le premier faible (1), le second bon (2), et le troisième bien (3). Les rendements totaux sont déterminés à pleine charge, aux 3/4 de la charge maxima et aux 2/3 de la charge maxima. Il est à remarquer que les exemples choisis se rapportent à des transmissions bien établies, et que les rendements obtenus sont déjà très satisfaisants.

Dans un deuxième paragraphe, M. Hartmann a établi une comparaison des transmissions mécaniques et électriques, en donnant pour chacune des valeurs moyennes et des valeurs limites. Ces exemples se rapportent à des essais de transmissions électriques par groupes qui ont été effectués dans les ateliers de la société. On trouve en moyenne en faveur des transmissions électriques des économies variables de 11,8 à 32,9 pour 100 à pleine charge, de 16,7 pour 100 aux 3/4 de charge et de 18,7 pour 100 aux 2/3 de la charge maxima. Le paragraphe relatif à l'emploi de machines à vapeur de faible puissance disséminées dans une usine et alimentées par des conduites centrales de vapeur nous prouve qu'il est plus avantageux d'établir une machine à vapeur de grande puissance pour actionner une dynamo et effectuer une transmission électrique à divers groupes de machines-outils. L'économie réalisée peut atteindre de 48,3 à 62,6 pour 100.

β. Expériences de la maison Siemens et Halske.

La maison Siemens et Halske, de Berlin, a également effectué depuis 1889 un très grand nombre de recherches des plus intéressantes sur les transmissions électriques dans ses ateliers de Charlottenburg. Toutes ces expériences ont fait en 1894 l'objet d'une communication de M. l'ingénieur en chef Richter à la Société des ingénieurs allemands.

Dès 1889, elle avait essayé la transmission dans six salles diverses des ateliers à l'aide de six moteurs électriques de 25 chevaux commandant des transmissions intermédiaires qui à leur tour actionnaient les machines-outils. Il s'agissait donc de transmissions par groupes. Dans une pièce contenant ainsi 42 machines-outils à l'aide de transmissions du 2e et du 3e degré, sans compter la commande d'une transmission du moteur à la transmission principale, les résultats ont été les suivants :

Transmission	du 2e degré,	rendement industriel	0,656
—	du 3e —	—	0,50

Ces chiffres concordent parfaitement avec ceux que nous avons déjà indiqués.

a. Durée d'utilisation.

Il est important aussi dans une appréciation de ce genre de tenir compte de la durée d'utilisation. Quelques recherches ont été faites dans ce sens, et on a remarqué que la durée d'utilisation des machines-outils variait entre 47 et 74 pour 100, en moyenne 62 pour 100 de la durée totale de marche des transmissions. En tenant compte de cet important facteur, le rendement industriel

tombe à 29 pour 100 pour une transmission à 3 degrés
— 40 — — — 2 —.

b. Dépenses d'installation par moteurs séparés.

La maison Siemens et Halske a cherché à déterminer les dépenses d'installation résultant de l'emploi d'une série de moteurs séparés, et les rendements industriels obtenus avec ces moteurs de faible puissance.

Elle a trouvé que, pour l'installation des 42 machines-outils commandées par un moteur de 25 chevaux, le prix d'établissement aurait été supérieur de 13 pour 100 seulement pour l'installation de 42 moteurs de faible puissance. Avec un nombre plus grand de moteurs, on serait tombé à 10 pour 100. Cette somme ne se rapporte pas à l'installation totale, mais uniquement à l'installation des transmissions.

Pour ce qui concerne les rendements industriels, considérons des moteurs de 185 watts, les plus faibles qui puissent réellement être utilisés dans l'industrie. En comptant leur rendement propre à 70 pour 100, le rendement de la ligne à 90 pour 100, le rendement de la dynamo primaire à 90 pour 100, et le rendement de la transmission du moteur à la machine-outil, nous arrivons à un rendement définitif de 51 pour 100. Ce chiffre peut facilement être mis en comparaison avec le rendement de 40 pour 100 que nous avons trouvé plus haut pour une transmission à 2 degrés avec une durée d'utilisation moyenne de 62 pour 100 de la durée totale. Si la durée d'utilisation dépasse cette valeur admise, l'avantage revient à la transmission à 2 degrés, environ 80 pour 100.

Si nous prenons au contraire des moteurs de 736 watts, le rendement total monte à 55 pour 100, pour une durée d'utilisation de 85 pour 100; le rendement industriel atteint la même valeur que la transmission à 2 degrés. S'il s'agissait de la transmission à 3 degrés, comme dans l'exemple cité plus haut de transmission par groupes, une durée d'utilisation de 75 pour 100 suffirait pour rétablir l'équilibre.

Les résultats précédents nous montrent toute l'importance que peuvent avoir les transmissions électriques par moteurs isolés. Et encore il est à considérer que ces expériences de comparaison ont été faites avec des transmissions établies dans des conditions soignées, et tout à fait normales.

Le résultat a été que le 1er décembre 1892, la maison Siemens et Halske possédait dans ses ateliers 194 moteurs électriques d'une puissance totale de 552 kw, 15 d'une puissance totale de 170 kw pour les transmissions par groupes, 172 d'une puissance totale de 117 kw pour transmission par moteurs séparés, et 7 d'une puissance totale de 265 kw pour le laboratoire d'essais.

Citons encore quelques renseignements sur les transmissions mécaniques actuellement employées.

La question des transmissions a déjà préoccupé vivement les industriels, et une importante discussion s'est engagée à ce sujet au 17e Congrès tenu en 1894 par les ingénieurs en chef des associations de propriétaires de machines à vapeur. Il est dit dans le compte-rendu que, la concurrence aidant, l'industriel est amené fatalement, pour résister, à chercher les moyens de tirer d'une quantité d'énergie accumulée le maximum de travail avec le moins de frais possible. Il est donc intéressé à diminuer

les pertes dans les transmissions. On donne ensuite un tableau indiquant la puissance de quelques installations, ainsi que la puissance absorbée dans les transmissions. Nous extrairons quelques chiffres se rapportant aux valeurs les plus faibles et les plus élevées.

INDUSTRIE —	PUISSANCE en chevaux.	Puissance absorbée dans les transmissions en pour 100.	NATURE des transmissions.
Usine pour fil de laine peignée	165	18	engrenages
Filature de coton	308	26	—
Forges et laminoirs	292	31	—
Fil de coton et laine peignée	188	39	
Blanchisserie	42	44	—
Savonnerie	65	60	—
Fabrique de broderies	26	66	—
Distillerie	64	62	courroies
Constructions métalliques	30	72	—

Les pertes dans les transmissions atteignent le plus généralement de 40 à 70 pour 100.

Les avantages économiques des transmissions électriques dans les ateliers sont reconnus par les ingénieurs les plus compétents. Nous citerons l'avis très autorisé de M. Thomas Richardson, qui a présidé, au mois d'octobre 1894, la réunion des ingénieurs et constructeurs de navires de la côte nord-est de l'Angleterre. Cet ingénieur a traité, dans son discours d'ouverture, la question de la distribution de la force motrice par l'électricité dans les ateliers. M. Richardson a d'abord constaté que toute transformation radicale d'un atelier entraînait des dépenses élevées, et qu'il tallait l'étudier avec un soin extrême avant d'être certain de son succès commercial. Puis il a pris l'exemple

d'un atelier de construction de machines marines de date ancienne. Dans cet atelier un groupe de chaudières fournit la vapeur à la pression de 4,3 kg par cm^2 à 31 moteurs répartis en divers points, à 8 moteurs pour machines-outils, et à 23 moteurs pour actionner les grues, les pompes, etc. Nous trouvons des détails complets sur les 8 moteurs à vapeur pour machines-outils. Le moteur n° 1 à balancier date de 50 ans ; il actionne 50 tours, raboteuses, raineuses et perceuses. La puissance moyenne indiquée est de 48 chevaux avec les machines-outils en marche et de 17,2 chevaux à vide. La consommation de vapeur, en comptant 20 pour 100 d'eau entraînée, est de 27,6 kg par cheval-heure indiqué. Le moteur n° 2 est un moteur horizontal à 2 cylindres, qui commande 2 dynamos pour l'éclairage et plusieurs machines-outils. La puissance indiquée est de 23,4 chevaux à vide, de 38 chevaux avec les machines-outils et de 93,8 dans la soirée avec les dynamos et les machines-outils. A ce dernier régime, la consommation est de 15, 6 kg de vapeur par cheval-heure indiqué. Le moteur n° 3 est à un seul cylindre et consomme 31,2 kg de vapeur par cheval-heure indiqué pour une puissance de 44 chevaux. Le moteur n° 4 est un moteur semblable au n° 3, d'une puissance de 28,9 chevaux, avec une dépense de 31,4 kg par cheval-heure. Pour les moteurs n° 5 et n° 6, horizontaux, et de puissances respectives de 56,2 et 75,7 chevaux indiqués, la consommation de vapeur atteint 19 et 18,7 kg par cheval-heure. Les moteurs n°s 7 et 8 sont des moteurs verticaux de 9,3 et 15,6 chevaux indiqués, fonctionnant à la vitesse angulaire de 150 tours par minute ; la dépense est de 31 kg et 26,5 kg de vapeur par cheval-heure indiqué. La longueur totale des conduites de vapeur réparties dans l'usine est

de 2,081 km. La dépense moyenne de vapeur par cheval-heure indiqué est de 23 kg ; il faut ajouter encore environ 7 pour 100 pour les condensations dans les conduites. M. Richardson termine en disant que si l'on établit une comparaison entre les deux systèmes de distribution de l'énergie, l'un par la vapeur distribuée à des moteurs disséminés, l'autre à l'aide d'électricité produite par un groupe unique et distribuée, l'avantage est en faveur de ce dernier procédé. En estimant à 10 pour 100 les pertes pour les résistances passives des moteurs et à 27 pour 100 les pertes pour la dynamo, les conducteurs et les moteurs, la dépense de vapeur par cheval-heure utile sur la poulie des moteurs est de 20,3 kg par la vapeur et de 9 kg par l'électricité. Il en résulte donc une économie de 55,6 pour 100 pour la transmission électrique. En prenant une puissance totale de 500 chevaux dans les deux cas, et en admettant une vaporisation de 8 kg d'eau par kg de charbon, la dépense de charbon sera de 36 tonnes avec la vapeur seule et de 13 tonnes avec l'électricité. M. Richardson insiste sur les pertes par arbres de transmission, courroies et poulies ; ces pertes varient de 25 à 70 pour 100 et ont en moyenne une valeur de 43 pour 100. Il cite des expériences où ces pertes par transmissions et engrenages ont atteint 59 et 75 pour 100. M. Ph. Delahaye, dans la chronique de la *Revue industrielle*, fait suivre le compte-rendu de ce discours de M. Richardson de quelques réflexions fort judicieuses. Il nous fait remarquer que, pour une ancienne usine, agrandie peu à peu, la substitution des transmissions électriques sera souvent une mesure de bonne administration. Mais il s'agit en général d'une dépense assez considérable qui ne peut être engagée sans études et sans essais préalables. On ne peut se résoudre en effet sans

preuves certaines à mettre à la ferraille un ancien matériel souvent de grande valeur. Nous partageons entièrement l'avis de notre excellent confrère ; un essai préalable est absolument nécessaire et indispensable. Mais suivant les résultats de ces essais, il ne faudra pas hésiter à engager une autre dépense et à refaire une installation sur les bases nouvelles. Pendant quelques années, l'économie réalisée servira à payer les dépenses jusqu'au moment où, après l'amortissement complet des dépenses, ses effets pourront se faire sentir sur l'exploitation générale. Mais dès la substitution il en résultera une grande simplification dans le service et dans le travail de l'usine.

γ. Exemples divers.

Les exemples de transmissions électriques sont fort nombreux dans tous les pays ; nous allons en citer quelques-uns en indiquant divers résultats obtenus.

Une des premières installations de transmissions électriques a été établie en 1883 à l'atelier des essais mécaniques du service du matériel et de la traction de la Compagnie de l'Est à Paris par moteurs électriques pour chaque machine-outil. MM. G. Dumont et Gustave Baignères nous en donnent la description dans leur excellent *Guide d'électricité industrielle*. Il s'agissait d'utiliser une machine à vapeur de 20 chevaux se trouvant dans une partie éloignée de l'atelier ; on eut recours à la transmission électrique pour actionner :

			kw
1 pompe de compression	à l'aide d'un	moteur Gramme de	2,208
1 compresseur	—	—	2,208
1 tour à fileter	—	—	0,736

			kw
1 pompe de compression	à l'aide d'un	moteur Gramme de	1,422
1 machine à raboter	—	—	0,368
1 mortaiseuse	—	—	0,368
1 perceuse	—	—	0,368
1 limeuse	—	—	0,368
1 meule	—	—	0,245
1 ventilateur	—	—	0,245

soit au total 10 machines-outils actionnées par 10 moteurs électriques d'une puissance totale de 8,536 kw.

Les résultats obtenus pour le rendement industriel ont été les suivants :

rendement organique du moteur à vapeur	0,90
transmission entre moteur et dynamo-génératrice	0,90
rendement de la dynamo-génératrice . . .	0,90
rendement de la ligne	0,972
rendement des réceptrices.	0,80
Rendement industriel total . . .	0,556

Les résultats étaient très remarquables pour l'époque, où les moteurs n'avaient pas encore atteint la perfection de construction actuelle.

En 1889, M. le capitaine Leneveu faisait établir une installation électrique fort remarquable dans les ateliers militaires de construction de Puteaux. Il s'agissait de faire fonctionner des machines-outils pour la menuiserie dans un bâtiment voisin, et l'installation devait être en état dans un délai de temps des plus minimes. M. le capitaine Leneveu eut l'idée d'utiliser la transmission électrique de la force motrice. Il faisait installer par la maison Hillairet des commandes électriques individuelles

pour les machines-outils de la menuiserie. En quelques jours, l'installation était prête et fonctionnait à la satisfaction de tous. A cette époque, les installations électriques n'étaient pas nombreuses, et on ne citait guère que quelques exemples isolés. Les transmissions électriques avaient été posées en souterrain afin de permettre, en cas de résultats défectueux, de les remplacer par des transmissions ordinaires par courroies. L'installation comprenait :

1 meule à émeri	actionnée par	1	moteur de	1,3 kw	à 130 volts.
2 machines à percer 1 machine à fraiser 1 meule à émeri triple 2 meules en grès 1 banc pour petite scie	—	7	—	3,9 kw	—
1 machine à dégauchir 1 machine à raboter 2 scies circulaires 1 machine à fouiller 1 petite scie à ruban 1 machine à faire les tenons 1 machine à mortaiser 1 toupie	—	9	—	7,15 kw	—
2 scies circulaires 1 tour à bois	—	3	—	13 kw	—
1 grande scie à ruban	—	1	—	15,6 kw	—

TOTAL : 21 machines-outils, 21 moteurs d'une puissance totale de 147,55 kw.

Le cahier des charges établi pour cette installation était des plus stricts et des plus sévères. Le rendement électrique de chaque moteur ne devait pas être inférieur à 0,87, et le rendement industriel des réceptrices devait être compris entre 0,85 et 0,90 du rendement électrique, soit entre 0,74 et 0,78.

Les résultats obtenus par l'exploitation de ces machines-outils ont été des plus satisfaisants, et l'installation a été faite dans des conditions exceptionnelles. M. le capitaine Leneveu a bien voulu nous fournir à ce sujet quelques renseignements des plus précieux; nous ne pouvons les utiliser ici, mais nous nous promettons de faire, dans notre second volume, sur cette importante installation, l'étude sérieuse et détaillée qu'elle demande.

On connaît l'installation des machines-outils, établie en 1890 par M. E. Sartiaux dans les ateliers des services électriques à la C[ie] du chemin de fer du Nord à Saint-Ouen-les-Docks, et dont nous avons déjà fait connaître plus haut les résultats économiques. Cette installation comprend :

	kw
1 gros tour à changement de marche avec 1 moteur de	0,552
1 tour moyen	1,324
1 petit tour monté à friction	0,662
1 tour de précision	0,883
1 tour d'horlogerie	0,441
1 petit tour à polir	0,552
1 petite perceuse	0,441
1 grande radiale	0,772
1 grosse perceuse	0,883
1 perceuse moyenne	0,662
1 petite perceuse	0,552
1 fraiseuse	1,656
1 étau limeur	1,656
1 meule	0,772
1 scie à ruban	1,048
1 ventilateur	0,883
1 broyeur mélangeur	1,324

17 machines commandées par 17 moteurs d'une puissance totale de 15,063 kw.

On a utilisé les machines-outils existantes, en prenant des dispositions pour passer directement du moteur à l'outil. Les moteurs ont en général une puissance supérieure à celle demandée par le travail ; on a pu ainsi ne pas multiplier le nombre des moteurs. L'installation a été faite par la maison Hillairet. La différence de potentiel est de 115 volts environ.

Dès 1891, la manufacture d'armes d'Herstal près de Liège, en Belgique, utilisait la transmission électrique. Après diverses transformations, l'installation comprenait, à la fin de 1893, 21 moteurs électriques d'une puissance totale de 315 kw disséminés dans l'usine et attaquant chacun un arbre de transmission principal pour actionner divers groupes de machines-outils. Dans une étude très documentée, parue en juillet 1892, dans la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, M. F. Mélotte a indiqué, pour les rendements industriels des moteurs électriques d'une puissance de 2,2 à 27 kw, des valeurs de 80 à 89 pour 100, et pour le rendement total industriel de la transmission électrique 76,6 pour 100. Il s'agit, comme on le voit, d'un résultat fort remarquable.

Dans ses ateliers à Nancy, M. Henrion a établi des moteurs électriques pour desservir des groupes de machines-outils, ainsi que quelques moteurs individuels pour engins divers. Il possède deux moteurs de 21 kw, 1 de 10,5 kw pour machines-outils, 1 de 3,68 kw pour tour à plateaux, deux moteurs de 0,736 kw commandant chacun une scie. L'économie réalisée avec la nouvelle installation atteint environ 50 pour 100 ; mais il est juste de dire qu'une partie de cette économie provient de la nouvelle machine à vapeur, environ 30 pour 100 ; les transmissions électriques procurent donc encore

une économie que l'on peut estimer à 20 pour 100.

Dans la région de l'Est et ailleurs, en France, la maison F. Henrion, de Nancy, a fait un grand nombre de transports de force motrice à distance et a utilisé en plusieurs circonstances les transmissions électriques, notamment dans les Forges et aciéries de l'Adour, au Boucau, dans la grande Brasserie de l'Est, à Nancy, dans les usines de MM. de Wendel et Cie, à Hayange, etc.

Les grands ateliers de construction de la maison Weyher et Richemond à Pantin sont pourvus de moteurs qui transmettent l'énergie dans divers ateliers.

Cette Société, qui est en France le constructeur des appareils de la Cie Electromécanique, a fait dernièrement dans ses ateliers une distribution de force motrice des plus intéressantes. Ces ateliers occupent à Pantin une surface totale de 25000 m² avec divers corps de bâtiments.

La station centrale renferme une machine à vapeur monocylindrique horizontale à quatre distributeurs, de 400 chevaux à la vitesse angulaire de 60 tours par minute; sa marche économique correspond à 200 chevaux. Elle actionne une transmission intermédiaire qui commande à son tour une dynamo à courants continus servant d'excitatrice, de 100 ampères et 110 volts, soit 11 kw, un alternateur à courants triphasés et trois alternateurs à courants diphasés à 12 pôles de 88 kw, (110 volts, 400 ampères par circuit) à 400 tours par minute et à la fréquence de 40 périodes par seconde. Les courants polyphasés ont été choisis de préférence aux courants continus parce que les machines génératrices coûtent environ 10 à 15 pour 100 moins cher, le rendement est semblable, la réaction d'induit est faible, et le

couplage en parallèle est aussi facile quoi qu'on en dise. Les courants diphasés ont été adoptés de préférence parce que les génératrices et les moteurs polyphasés ont une puissance spécifique plus grande et un rendement plus élevé que les génératrices et les moteurs à courant alternatif simple, et parce que moteurs diphasés ont un démarrage plus facile que celui des moteurs monophasés.

L'installation actuelle renferme 17 moteurs d'une puissance totale de 190 kw, répartis dans les divers ateliers pour actionner les transmissions commandées autrefois par les machines à vapeur. Nous donnons ci-après la répartition des moteurs, avec leur puissance respective et la désignation des services auxquels ils sont affectés d'après la communication faite par M. Boucherot en décembre 1894 à la Société des Electriciens :

ATELIERS	NOMBRE DE MOTEURS	PUISSANCES UTILES EN KW
Essais	1	22
Grande chaudronnerie	1	33
Petite —	1	9,5
Bobinage	3	3,3
Forge	1	1,1
Montage	1	2,2
—	1	3,6
Pont roulant	1	6
—	2	2,2
Ancien ajustage	1	33
Modèles	1	14,7
Outillage	1	22
Précision	1	14,7
—	1	22
Total	17	190

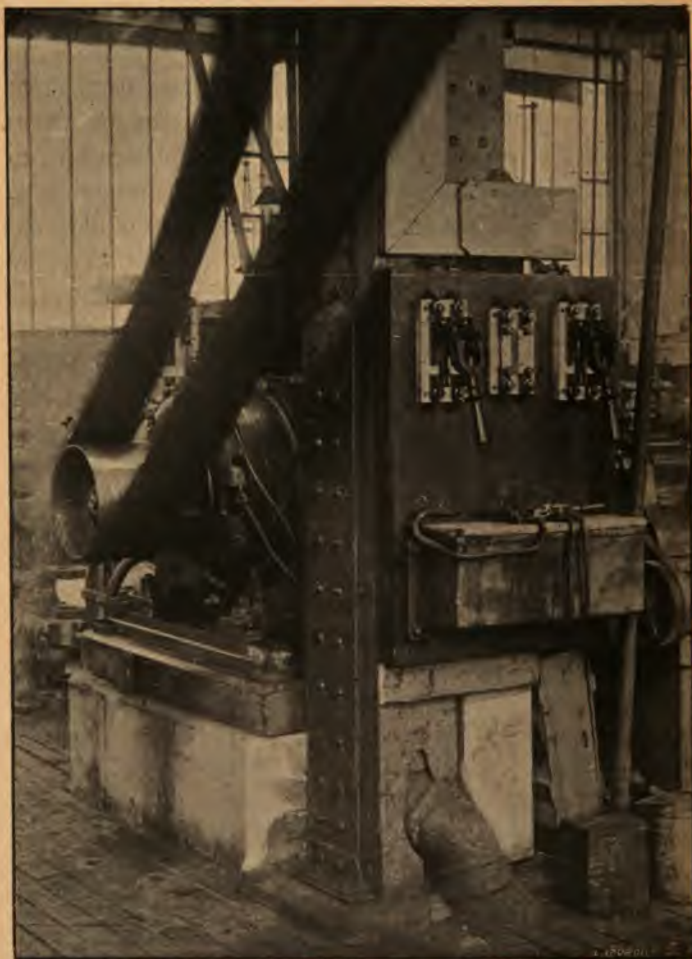


Fig. 180 *bis*. — Installation d'un moteur de 22 kw dans les ateliers de précision de la maison Weyher et Richemond, à Pantin.

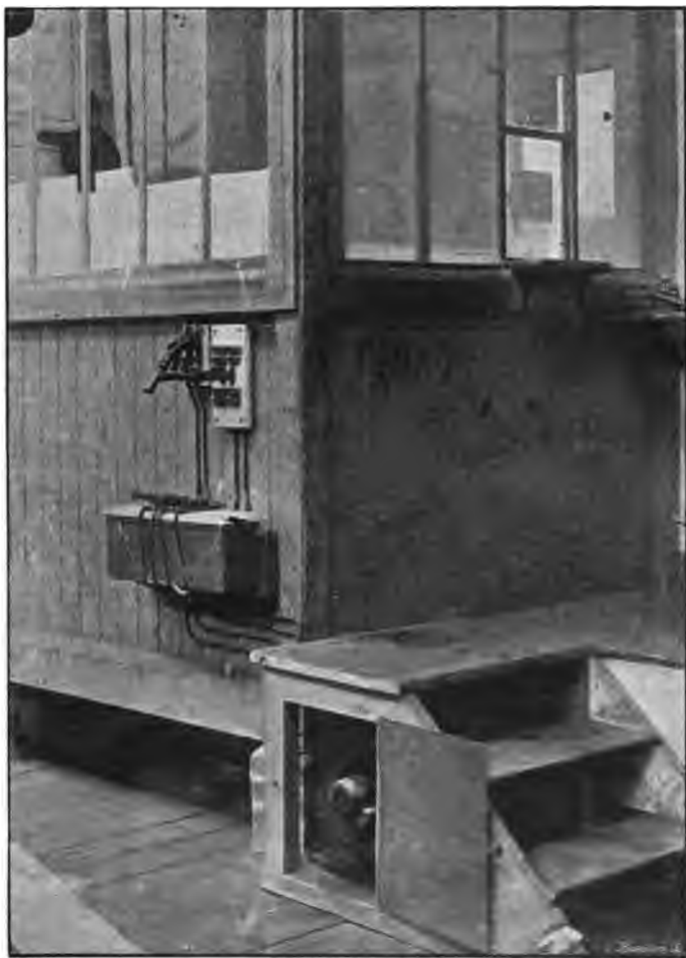


Fig. 180 *ter*. — Installation d'un moteur de 2,2 kw pour la commande de l'alésoir dans les ateliers de la maison Weyher et Richemond, à Pantin.

Les rendements industriels de ces moteurs sont de

92 pour 100	pour les	moteurs	de 33	kw
91	—	—	de 22	—
90	—	—	de 14,7	—
89	—	—	de 9,5	—
86	—	—	de 6	—
83	—	—	de 3,6	—
76	—	—	de 2,2	—
74	—	—	de 1,1	—

L'ensemble des moteurs a un rendement industriel de 89,8 pour 100.

Ces divers moteurs ont été installés dans les ateliers et commandent les anciennes transmissions. La figure 180 *bis* nous montre l'installation d'un moteur de 22 kw dans les ateliers de précision. Le moteur, qui se voit dans le fond, est installé sur un bloc de pierre et actionne la courroie qui commande les transmissions établies à la partie supérieure de l'atelier. Sur le devant, on aperçoit les interrupteurs et au-dessous les bobines de self-induction pour le démarrage. La figure 180 *ter* représente la disposition du moteur de 2,2 kw destiné à actionner l'alésoir. Ce moteur est placé sous un escabeau, et fonctionne sans grande surveillance ; on aperçoit aussi devant la cabane du contre-maître les interrupteurs et les bobines de démarrage.

Cette installation, qui ne comprend qu'une partie des grands ateliers de la maison, a donné toute satisfaction et a permis de réaliser de grandes économies sur les anciens modes de transmission.

La maison Ch. Mildé et Cie, à Paris, a installé un moteur à courants alternatifs de 4,2 kw pour la commande

des machines-outils des ateliers de l'Ecole industrielle des apprentis. Nous avons déjà parlé précédemment des dispositions essayées.

Nous aurions encore un grand nombre d'installations à signaler dans Paris, et à l'étranger, notamment dans différents ateliers de machines à coudre, différents ateliers de serrurerie et de construction. Les renseignements que nous venons de fournir suffisent pour donner des idées générales; nous ajouterons quelques détails sur l'installation récente dans la grande fabrique d'étoffes et de rubans de MM. Forest et Cie, à Saint-Etienne.

L'installation comprend : 1° 40 moteurs électriques de 500 à 736 watts montés sur les métiers d'étoffes et les actionnant directement par une courroie sur poulies fixe et folle; 2° 60 moteurs de 245 watts placés à la partie inférieure des métiers de rubans et velours, avec entraînement par cordes en cuir sur une double poulie intermédiaire; 3° 5 moteurs de 0,736 à 2,208 kw pour actionner à l'aide de transmissions intermédiaires diverses machines dans les ateliers de dévidage, découpage et lustrage; 4° un moteur de 90 watts pour actionner l'imprimeuse, et un moteur de 245 watts pour actionner un tour à découper les tambours de pliage. La puissance nécessaire pour effectuer la transmission électrique a été estimée de 37 à 40 chevaux; avec les transmissions mécaniques elle aurait été de 50 chevaux environ. Il en résulte donc une économie de 20 pour 100 sur la puissance nécessaire. Nous ferons remarquer que dans cette installation on a utilisé un matériel existant auquel on a simplement adapté des transmissions électriques : l'économie réalisée n'est pas cependant à dédaigner. Il faut considérer maintenant que, si l'usine avait été pourvue de transmissions

mécaniques, il aurait fallu dépenser une puissance constante de 12 chevaux pour actionner ces transmissions. Cette marche répartie sur un grand nombre d'heures annuel aurait été très onéreuse, et le rendement industriel aurait été fort peu élevé.

Nous mentionnerons l'installation faite dernièrement aux grands moulins de Corbeil, pour remplacer une transmission par câbles télédynamiques. L'installation comprend un moteur de 36,80 kw qui actionne les transmissions du bâtiment du nettoyage. Le rendement industriel obtenu a été de 77 pour 100. Ces moteurs présentent ceci de remarquable qu'ils fonctionnent 15 jours de suite sans aucun arrêt et presque sans surveillance. L'installation doit être complétée prochainement par un moteur de 51 kw, et des élévateurs électriques à charbon, ainsi que par des cabestans et divers autres moteurs.

L'intéressant mémoire de M. E. Hartmann, de l'*Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft*, de Berlin, dont nous avons parlé plus haut,contient un grand nombre d'exemples de transmissions électriques. Dans une brasserie, un moulin à égruger a été actionné par un moteur électrique à distance en remplacement d'une transmission mécanique. La puissance utile était de 7 chevaux. Dans le dernier cas, la puissance mécanique nécessaire était de 13,7 chevaux; soit un rendement industriel de 51 pour 100. La transmission électrique a donné un rendement de 74 pour 100. L'économie réalisée est donc de 31,1 pour 100. Nous trouvons encore l'installation électrique de l'Actiengesellschaft für Fabrication von Eisenbahn-Material, à Gœrlitz, renfermant 2 moteurs de 22,08 kw, 1 de 14 kw, 1 de 11 kw, 1 de 1,10 kw pour actionner des machines-outils de menuiserie, rabots, etc. Dans ses ate-

liers de la fabrique d'Ackerstrasse, l'*Allgemeine Elektricitæts Gesellschaft* a installé 40 moteurs d'une puissance totale de 301,7 kw.

dont 21	moteurs d'une puissance totale de (enroulement des armatures),	67,27 kw
7	moteurs d'une puissance totale de (fabrique des armatures),	44,80 kw
3	moteurs d'une puissance totale de (fabrique de câbles),	16,20 kw
1	moteur d'une puissance totale de (fabrique de caoutchouc),	58,68 kw
8	moteurs d'une puissance totale de (laboratoire d'essais),	114,78 kw
40	moteurs d'une puissance totale de	301,74 kw

En dehors des ateliers de Charlottenburg, dont nous avons parlé plus haut avec détails, la maison Siemens et Halske a fait un grand nombre d'installations. Nous citerons un exemple où une machine à vapeur de faible puissance a été remplacée par une transmission électrique. Dans une fabrique de sucre une machine à vapeur de 35 chevaux recevait la vapeur par une longue canalisation; la dépense de vapeur était environ de 17 kg par cheval-heure, et en comptant toutes les pertes on arrivait environ à 20 kg. Une transmission électrique a été installée; le rendement industriel total s'est élevé à 77 pour 100, avec une dépense de 9,1 kg par cheval-heure utile. Cette disposition a donc assuré une économie de 54,5 pour 100.

Mentionnons aussi un exemple d'installation électrique très important établi par l'*Elektricitæts Aktiengesellschaft* ci-devant Schuckert et C[ie], à Gustavsburg, près de

Mainz. Les importantes fonderies d'une Compagnie de construction de machines ont été déplacées de Nürnberg à Gustavsburg, et il fallait transmettre l'énergie dans des salles dont l'éloignement atteignait parfois 150 mètres. La transmission par arbres, poulies et courroies devenait impossible et aurait donné des résultats déplorables. L'*Elektricitæts Aktiengesellschaft* a installé une station centrale d'une puissance totale de 50 kw pour actionner 18 moteurs. Ces derniers commandaient des pompes, machines à percer, cisailles, machines à raboter, des ventilateurs, des grues, etc. Le rendement industriel total a été de 70 pour 100. Ce résultat n'aurait jamais été atteint ni approché par d'autres modes de transmissions.

En Suisse, les grands ateliers d'Oerlikon ont établi des transmissions électriques importantes à l'aide de courants triphasés dans leurs propres ateliers et dans plusieurs autres grandes usines, entre autres l'usine de MM. Escher Wyss au Hard-Zurich. A Frankfurt-am-Mein, la maison W. Lahmeyer et C° possède dans ses ateliers 11 moteurs électriques de diverses puissances pour actionner des machines-outils, des grues et des ventilateurs de forge.

Nous ne pouvons passer sous silence la grande installation que la *Cie de l'Industrie électrique* a établie à Sécheron dans la banlieue Nord-Est de Genève pour ses ateliers de construction et d'outillage et ses bureaux. Les machines-outils de cette grande construction, qui a actuellement une longueur de 72 m, une largeur de 25 m et une hauteur de 12,50 m sont toutes actionnées électriquement. La force motrice est empruntée à une chute d'eau sur le Rhône et transmise électriquement à l'usine à une distance de 2,3 km. Une turbine de 350

chevaux actionne une dynamo de 220 kw à 1200 volts. La ligne de transmission est souterraine. A l'usine de Sécheron se trouvent 4 réceptrices, deux de 22 kw et de 37 kw pour commander les machines-outils, une de 150 kw pour les essais des dynamos, et une de 20 kw pour actionner une dynamo à 110 volts destinée à l'éclairage. Les machines-outils actionnées électriquement sont les suivantes : 46 tours, 4 aléseuses, 10 machines à fraiser, 14 perceuses, 6 raboteuses et limeuses et un grand nombre de cisailles, meules et scies diverses.

Les quelques exemples que nous avons cités prouvent que les transmissions électriques par moteurs séparés ou par groupes de moteurs permettent de réaliser de grandes économies dans l'exploitation sur les transmissions mécaniques à 2 ou 3 degrés employées actuellement dans l'industrie.

B. Machines-outils.

1° *Généralités.*

Après les transmissions proprement dites viennent les machines-outils. Il ne suffit pas de transmettre au loin l'énergie mécanique ; il faut l'utiliser.

Il y a tout intérêt à disposer particulièrement les machines-outils pour la commande électrique. Les commandes actuelles nécessitent une série d'engrenages, de transmissions secondaires intérieures très défavorables pour une bonne marche et un bon rendement. La vitesse angulaire des moteurs électriques peut convenir quelquefois, elle peut être d'autres fois trop élevée; il y a des

machines particulières à combiner en vue d'utiliser avantageusement la transmission électrique.

Jusqu'ici, il faut le reconnaître, on s'est contenté le plus souvent de prendre les machines-outils existantes et de commander la poulie de transmission par un moteur électrique. Cette disposition, qui assure déjà certains avantages sur les dispositions antérieures, est loin de réaliser tous les avantages qui peuvent être atteints.

Citons quelques chiffres pour fixer les idées. Pour diverses machines-outils actionnées en groupes par moteurs électriques, la maison Siemens et Halske de Berlin a trouvé un rendement industriel de 0,15 ; pour un tour adapté à un moteur électrique avec transmission intermédiaire elle a trouvé 0,71. Pour diverses machines à percer, à fraiser, des tours, l'*Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft* a trouvé des rendements industriels variables de 0,31 à 0,65. On voit qu'il reste encore beaucoup à étudier et à construire pour arriver à un rendement industriel moyen plus satisfaisant. Mais il est nécessaire pour cela de soigner tout particulièrement la construction des machines-outils électriques et d'adapter les moteurs sur ces machines afin de produire des appareils ne laissant rien à désirer au point de vue électrique.

Nous n'avons pas l'intention d'examiner toutes les machines-outils et de faire une étude détaillée de leur commande électrique ; nous nous contenterons de passer en revue les diverses machines déjà construites dans le sens que nous avons indiqué.

2° *Machines-outils diverses.*

Nous avons pu classer les machines qu'il nous a été donné d'étudier jusqu'ici et nous les avons réparties dans les paragraphes suivants :

α. tours.
β. machines à percer.
γ. machines à raboter.
δ. machines diverses.

α. Tours.

Comme nous l'avons dit plus haut, les ateliers de la Cie des chemins de fer de l'Est et du Nord ont employé depuis longtemps des tours mus électriquement. Dans les ateliers de la Compagnie du Nord, les commandes sont effectuées de la façon suivante, d'après les renseignements qu'a bien voulu nous fournir M. E. Sartiaux, chef des services électriques.

Le tour à cylindrer à banc rompu, le tour à cylindrer à cuvette à banc droit et le tour moyen sont commandés par un moteur électrique, à un seul électro, d'une puissance de 1 100 watts.

Ce moteur, placé au pied des tours et du côté opposé à celui où l'ouvrier se tient, est monté sur une plate-forme en fonte qui lui sert d'assise. L'arbre de l'anneau porte un pignon qui commande une roue dentée à chevrons dont l'axe porte le cône d'entraînement habituel.

Les deux brins de la courroie qui relie ce cône à celui fixé sur le tour, passent sur deux rouleaux tendeurs, montés sur une chape à glissière commandée par un levier et un contrepoids qui a pour but de faire remonter les rouleaux et de tendre la courroie. Si on appuie légèrement sur le levier, la courroie se détend et le tour s'arrête, bien que le moteur continue à tourner : l'ouvrier a ainsi à sa disposition deux moyens rapides d'arrêter le tour : le commutateur et le levier tendeur de la courroie.

Le commutateur-rhéostat de mise en marche ne présente rien de particulier, en dehors de la commande qui a été disposée de manière que l'ouvrier puisse en faire la manœuvre à la portée de la main. A cet effet, l'axe du commutateur a été prolongé par une tringle dont l'extrémité est munie d'un bras de levier auquel sont reliées deux cordes ; en tirant sur la première corde, on dirige la clef du commutateur sur courant fermé, en passant par une série de résistances convenablement graduées, tandis que la seconde corde sert à ramener cette clef sur un plot isolé et par conséquent à couper le courant.

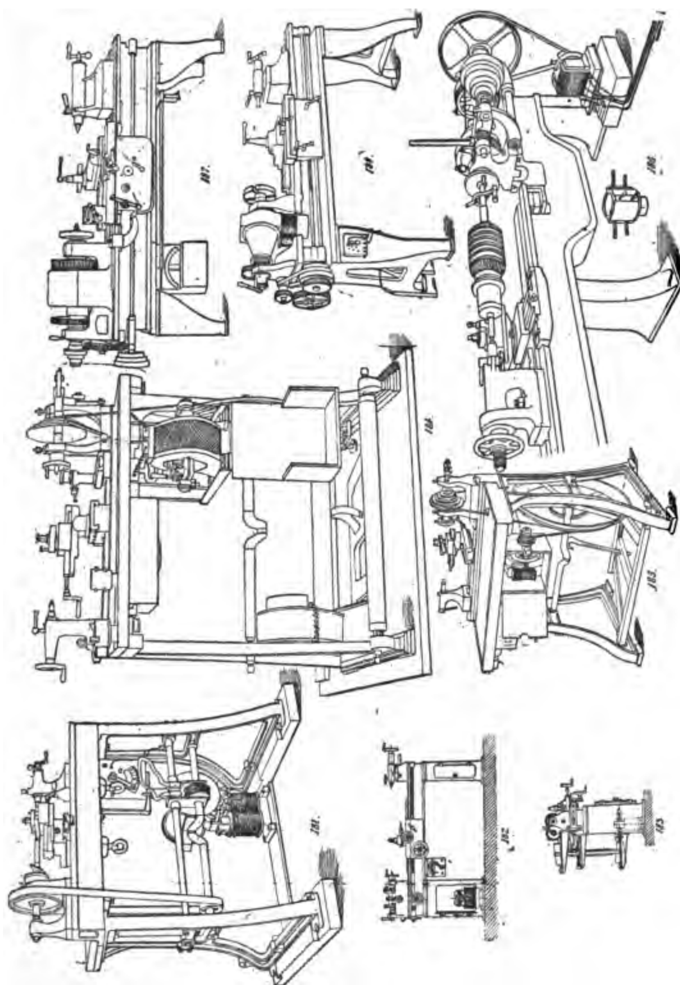
Les deux tours à polir et à dégrossir, qui sont d'anciens tours à pédale et au pied, sont commandés par des moteurs électriques de 300 watts à un seul électro. Pour l'un d'eux, la poulie de commande est reliée par une courroie au moteur placé sous le tour même. Pour l'autre, le moteur est suspendu sur un axe et entraîne le volant du tour par la friction d'un galet en acier sur du cuir qui garnit la jante du volant. La suspension du moteur a été réalisée pour obtenir, par le poids de l'appareil, un meilleur contact entre le galet et le volant.

Les commutateurs-rhéostats de mise en marche sont fixés sur les deux tours à la portée de la main de l'ouvrier et sont du modèle indiqué plus haut.

Enfin, les deux tours à verge, destinés au nettoyage des petites pièces d'horlogerie, sont actionnés par un petit moteur à huit pôles de 65 watts placé sous le banc sur lequel sont fixés ces tours ; la commande est faite par l'intermédiaire d'une corde à boyaux. Les commutateurs rhéostats de mise en marche sont également fixés sous les bancs et à la portée de l'ouvrier.

Nous avons réuni dans le tableau ci-joint (Fig. 181 à 188)

quelques-uns des modèles de tours actuellement en



Figures 181 à 188. — Divers modèles de tours actionnés électriquement.

usage, dont nous avons pu nous procurer les dessins.

La Fig. 181 représente un tour simple de l'A. E. G. Un moteur à courants continus placé dans le pied de l'appareil commande directement un engrenage qui porte un disque de friction. Celui-ci vient appuyer contre une poulie montée sur un arbre qui porte à son extrémité une autre poulie. Sur celle-ci est placée la courroie qui commande le tour. On aperçoit sous la plate-forme du tour l'interrupteur pour la mise en circuit ou hors circuit. Les variations de vitesse sont obtenues par le déplacement de la poulie de friction à l'aide d'un support que l'on peut manœuvrer à la main. La position au centre correspond à la mise en marche ; à droite et à gauche sont les positions successives de marche normale suivant les vitesses à obtenir.

Les Fig. 182 et 183 donnent les dispositions adoptées par la même Cie pour un grand tour parallèle. A la partie inférieure, dans une cage fermée pour éviter les accidents, un moteur commande directement un cône de transmission qui actionne par courroie un cône de transmission inverse placé à la partie supérieure. Ce dernier cône commande à son tour par engrenage l'axe du tour. Les variations de vitesse s'obtiennent facilement par le simple déplacement de la courroie sur les cônes. Les résistances et appareils de démarrage et divers sont renfermés à l'intérieur; on n'aperçoit sur le devant que l'interrupteur de circuit.

La Fig. 184 est un tour à moteur Ganz asynchrone à courants alternatifs; celui-ci est placé dans une cage en bois et commande par courroies les transmissions intermédiaires. Le rhéostat de démarrage se trouve en bas sur le côté gauche.

La maison Siemens et Halske construit plusieurs sys-

tèmes de tours simples et de tours parallèles : la Fig. 185 représente un tour simple à moteur à courants continus de faible puissance. Les cônes de transmission prévus permettent de faire varier la vitesse angulaire dans de grandes limites. La Figure 186 est un modèle de tour, dans lequel le moteur est placé à la partie inférieure sur une plate-forme; la transmission à l'arbre du tour est faite par engrenages que l'on peut changer à volonté pour modifier la vitesse.

Les Fig. 187 et 188 sont aussi deux modèles de tours parallèles commandés directement par moteurs placés sur la plate-forme; le premier tour est construit par la Card Electric Motor and Dynamo C°, à Cincinnati, le second, de la Crocker-Wheeler C°, est en dépôt à Paris chez M. J. Ullmann. Dans le modèle de la Card Electric C°, une tige longitudinale portant un taquet que l'on peut manœuvrer facilement avec la jambe permet de déplacer la manette du rhéostat de réglage qui est disposé à l'autre extrémité. Dans le second modèle, l'interrupteur est à gauche. Dans les deux appareils, des transmissions permettent de faire déplacer très lentement les chariots portant les outils.

β. Machines à percer.

Après les tours, viennent les machines à percer, qui ont également une très grande importance, et qui peuvent rendre les plus utiles services dans les ateliers.

Les machines perceuses sont fort nombreuses et nous avons dû les diviser en deux classes. La première se rapporte aux modèles courants fixes, et la deuxième aux modèles mobiles. On sait qu'on a souvent besoin de percer des trous sur des pièces métalliques qu'il est dif-

ficile de manœuvrer ; la perceuse est amenée sur place.

Le premier tableau qui comprend 8 figures (n° 189 à 196) est pour les machines diverses, et le deuxième tableau pour les machines mobiles.

a. Machines fixes.

Dans le tableau I, nous trouvons (Fig. 189) la perceuse Hillairet, qui consiste en un moteur électrique de faible puissance, monté sur une tige avec pieds, avec commande du foret par vis tangente. Cette perceuse peut

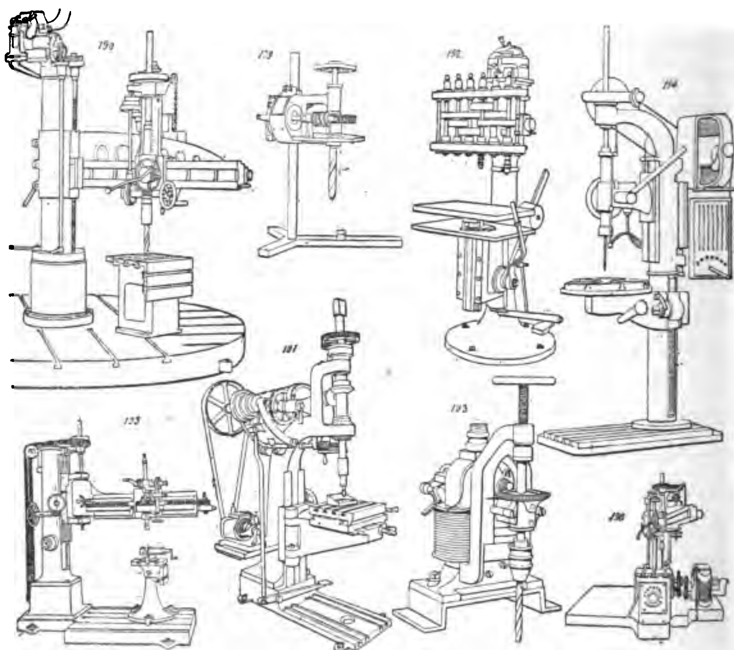


Fig. 189 à 196. — I.—Modèles divers de machines à percer fixes, actionnées par des moteurs électriques.

forer des trous de 20 mm de diamètre avec un avancement de 10 mm par minute. La perceuse Bickford (Fig. 190) est une perceuse radiale qui convient pour les machines-outils puissantes. Le moteur, du système Crocker-Wheeler, à faible vitesse angulaire, est établi à la partie supérieure d'une colonne. L'arbre de la bobine porte un pignon en cuir qui vient engrener avec une grande roue droite en acier portée sur un arbre intermédiaire horizontal. Une autre roue conique en acier transmet le mouvement à un pignon fixé à un arbre vertical, placé en arrière. Ce dernier porte une rainure dans laquelle coulisse l'un des pignons qui actionne un arbre longitudinal. Cet arbre est pourvu d'une rainure qui actionne un axe vertical court établi sur le porte-outil. Au moyen d'un engrenage droit, cet axe transmet le mouvement de rotation à la tige à rainure du foret.

La Fig. 191 est une machine à percer à laquelle on a adapté un moteur électrique Siemens et Halske. La Fig. 192 est une machine à percer multipointes avec un moteur de la même maison, placé à la partie supérieure. La Fig. 193 nous représente une machine à percer à commande directe par engrenages coniques construite par l'*Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft*. Il en existe deux modèles : l'un commandé par un moteur de 140 watts à la vitesse angulaire de 1600 tours par minute, et permettant d'obtenir des trous de 10 mm de diamètre et de 55 mm de profondeur, et l'autre commandé par un moteur de 260 watts, à 1100 tours par minute, pour des trous de 18 mm de diamètre et de 65 mm de profondeur. Le poids de ces deux machines est respectivement de 21 et de 39 kg.

L'*Elektricitæts-Aktiengesellschaft*, autrefois Schuchert

et C°, a donné une forme différente aux machines à percer qu'elle construit. Dans la Fig. 194 le moteur électrique est placé à la partie supérieure; il commande par courroies une poulie qui agit à son tour sur l'arbre portant le foret. Le plateau sur lequel sont placés les objets peut être élevé ou abaissé à l'aide d'une glissière dentée. Le rhéostat de réglage est au-dessous du moteur. Ce dernier consomme 1190 watts et tourne à la vitesse angulaire de 1000 tours par minute.

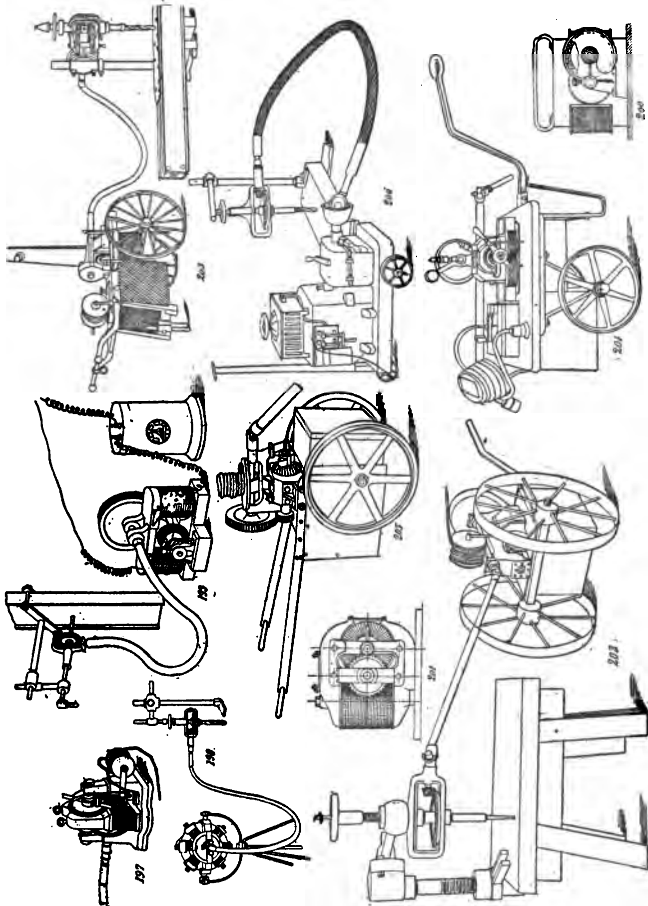
Dans la machine à percer de la maison Collet et Engelbach, à Offenbach, (Fig. 195), le bâti renferme un moteur de 1,1 kilowatt à 110 volts; la transmission est effectuée par courroies.

La C° Card Electric Motor and Dynamo a installé un moteur (Fig. 196) sur le bâti de la machine avec commande par engrenages.

b. Machines mobiles.

Les modèles de perceuses mobiles sont très nombreux, comme nous l'avons dit plus haut; nous ne pouvons décrire ici en détail tous ces types de perceuses. Nous en avons réuni un certain nombre dans le tableau ci-joint; les dispositions seront facilement comprises sans grandes explications. Les moteurs employés sont en général de très faible puissance et la commande est faite par des flexibles. La Fig. 197 représente la perceuse Gramme; la Fig. 198, la perceuse Hillairet pour trous de 25 mm de diamètre avec avancement de 10 mm par minute; la Fig. 199, la perceuse Breguet pour trous de 20 et 50 mm de diamètre; la Fig. 200 se rapporte à une perceuse Sautter-Harlé dépensant environ 700 watts et permettant de forer en 4 minutes environ des trous de

26 mm de profondeur et de 28 mm de diamètre dans une plaque d'acier doux.



Figures 197 à 206. — Modèles divers de perceuses électriques mobiles.

La Fig. 201 est une perceuse de la Société L'Eclairage Electrique. Cette perceuse, avec des moteurs de 700 watts

à 110 volts, permet de forer des trous respectifs de 25 et 35 mm de diamètre dans des tôles d'acier. La transmission est effectuée par flexibles et la mèche tourne dans le premier cas à 80 tours par minute, et dans le second à 70. Les moteurs électriques sont très robustes et conviennent très bien pour un travail de ce genre.

La maison Siemens et Halske construit également des perceuses flexibles semblables à celles que nous venons de signaler.

Les Fig. 202, 203, 204, 205, et 206 représentent les modèles de perceuses mobiles sur chariots et pouvant se déplacer facilement dans les ateliers, construites par les maisons Ganz et C°, ateliers d'Œrlikon, Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft, Collet et Engelhard, et la General Electric C°, de New-York.

γ. Machines à raboter.

Les machines à raboter sont fort nombreuses. Nous citerons en particulier les machines employées dans les ateliers de construction des dynamos pour raboter les inducteurs, entre autres la raboteuse Hughes, utilisée dans les usines de la General Electric C°.

Le tableau ci-joint nous montre quelques modèles de ces machines. Dans la Fig. 207 est une raboteuse transportable. Un moteur électrique actionne à l'aide de transmissions des cylindres à rabots placés contre le sol. La Fig. 208 est une raboteuse américaine actionnée par un moteur de 22 kw suspendu au plafond et transmettant le mouvement par courroie. La maison Schuckert a adapté à un moteur de 6300 watts une transmission pour action-

ner une raboteuse ordinaire (Fig. 209). La Fig. 210 est un modèle portatif avec moteur placé à la partie supérieure.

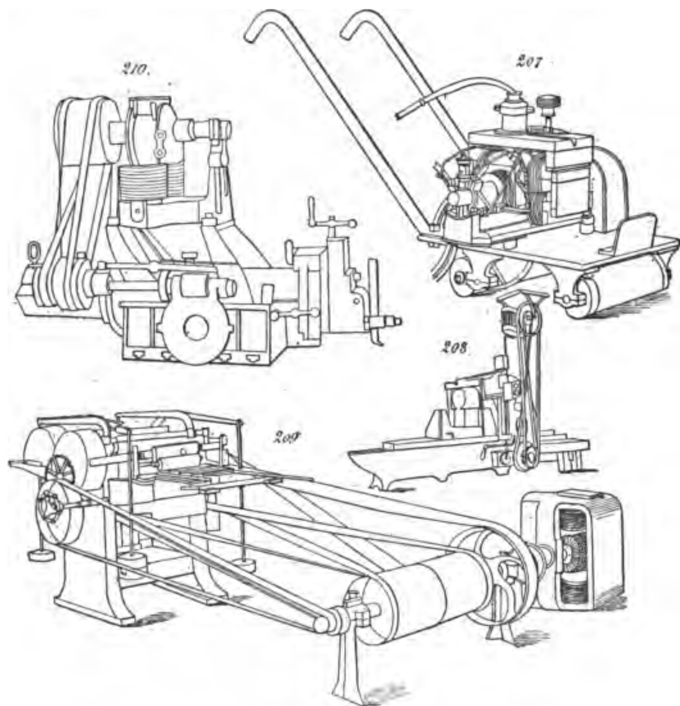


Fig. 207 à 210. — Modèles divers de raboteuses électriques.

δ. Machines diverses.

Les machines-outils de toutes sortes sont nombreuses aujourd'hui ; on n'en compte cependant encore que fort peu actionnées électriquement. A côté des machines décrites précédemment, nous mentionnerons des poinçonneuses, des étaux-limeurs, des machines à fraiser, des scies circulaires, des machines à mortaiser.

Les ateliers des chemins de fer du Nord et de l'Est, à Paris, emploient des machines à fraiser, des scies à rubans et des étaux-limeurs ainsi actionnés.

La Société Garbe, Lahmeyer et C°, d'Aix-la-Chapelle, a exposé à Anvers en 1894 des machines à fraiser électriques, pouvant fonctionner à trois vitesses différentes.

Les ateliers d'Oerlikon emploient des machines à fraiser horizontales avec transmissions par courroies et poulies graduées commandées électriquement.

L'*Elektricitæts Aktiengesellschaft*, de Nürnberg, a fait la commande électrique d'une machine à cintrer. Le moteur employé a une puissance de 2600 watts et tourne à la vitesse angulaire de 1100 tours par minute. Cette même Société construit pour la bijouterie des machines à mortaiser rapides, dont les moteurs consomment 350 watts et tournent à 1500 tours par minute. Un grand nombre de ces moteurs sont utilisés chez les ouvriers dans la petite ville de Pforzheim.

Il nous faut aussi signaler les scies à pierre de la Thomson Van Depœle Electric Company de Boston, et des scies à bois pour arbres de la maison Ganz.

La maison Piat a établi dernièrement de nouveaux modèles de riveuses avec commande électrique étudiée par la maison Sautter-Harlé. Nous nous contenterons d'examiner la partie électrique, dont nous donnons le schéma (Fig. 211). La commande comprend un interrupteur A pour ouvrir ou fermer le circuit, un commutateur C pour changer le sens du courant et faire tourner un moteur dans un sens ou dans un autre. Celui-ci sert aussi à arrêter automatiquement le moteur quand la vis du piston plongeur de l'appareil est à fond de course. Un rhéostat R permet d'effectuer les mouvements à volonté.

Pour fabriquer un rivet avec cette machine, il faut d'abord faire remonter la vis du plongeur, et ensuite refouler le liquide de la pompe sous le piston. Toutes ces ma-

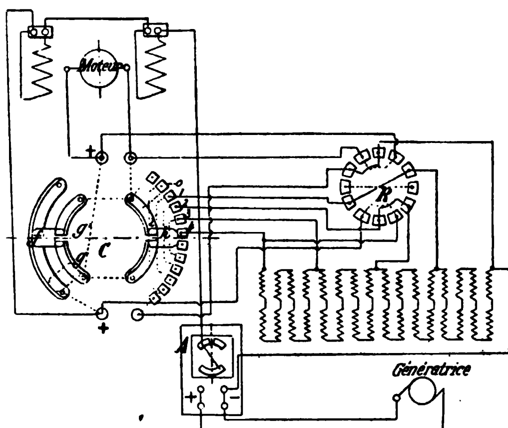


Fig. 211. — Schéma de la commande électrique de la riveuse Piat.

nœuvres sont obtenues très aisément et très rapidement avec la riveuse électrique de MM. Piat.

A côté de toutes ces machines, n'oublions pas de signaler les meules qui sont d'un grand secours pour l'affutage des outils. On trouve aujourd'hui un grand nombre de meules actionnées électriquement.

Nous terminerons ce paragraphe des machines-outils en donnant les dessins de quelques outils divers, qui offrent un certain intérêt. La Fig. 212 représente une machine à sculpter ; elle est formée d'un moteur de 600 watts de la Société L'Eclairage électrique, moteur tournant à 7000 tours par minute et portant sur l'arbre une mèche pour découper le bois. Cette machine est utilisée à Paris dans les ateliers de M. Delin, fabricant de

statues. Placée à une extrémité d'un pantographe particulier, elle permet de reproduire à toutes dimensions les formes d'autres statues modèles dont on suit les contours à l'aide d'un stylet placé à l'autre extrémité du panto-

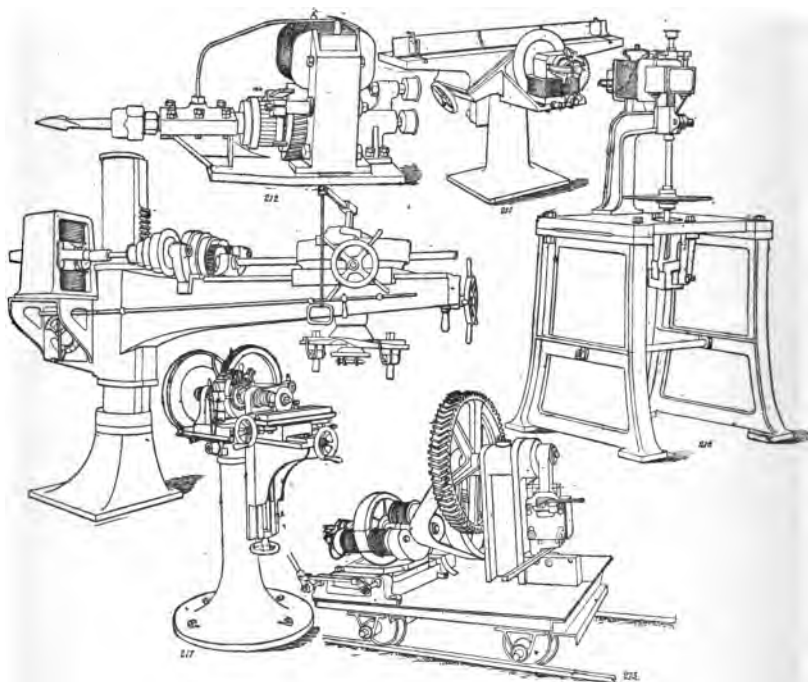


Fig. 212 à 217. — Machines-outils diverses électriquement actionnées.

graphe. La Fig. 213 est une cisaille mobile actionnée par un moteur Henrion de 75 ampères à 110 volts à 800 tours par minute. Cette cisaille est utilisée dans les usines métallurgiques de MM. de Wendel, à Hayange (Lorraine). La Fig. 214 nous montre une machine à roder pour des

sièges de soupape de cylindres, avec commande électrique, utilisée dans les ateliers d'Oerlikon. La Fig. 215 est une machine de la même Société et sert à dégauchir des bois jusqu'à 300 mm de largeur. La Fig. 216 est une machine à tailler les diamants actionnée par un moteur électrique de 245 watts à 1800 tours par minute ; elle est très employée à Pforzheim. La Figure 217 nous montre une machine à fraiser commandée électriquement, construite par la maison Siemens et Halske.

Dans les quelques lignes précédentes, nous avons voulu faire passer sous les yeux du lecteur quelques-uns des modèles de machines-outils électriques actuellement employées dans l'industrie. Notre étude n'est pas très étendue et se trouve bien incomplète. Nous aurions désiré donner une description plus détaillée des divers organes de ces machines, et surtout ajouter divers renseignements sur les consommations d'énergie électrique à vide, à moitié charge, à pleine charge, et déterminer ces mêmes consommations suivant le travail effectué (trou percé à une profondeur et sur un diamètre donnés en x minutes, pièce de y mm de diamètre tournée en z minutes, etc.). Nous devons reconnaître que ces éléments de fonctionnement n'ont pas encore été déterminés d'une manière bien sérieuse. La construction des machines-outils électriques commence à peine ; mais elle est appelée à prendre dans peu de temps une place prépondérante dans l'industrie électrique.

C. **Ascenseurs.**

Les ascenseurs sont indispensables dans les grandes villes, où les étages sont souvent élevés et les escaliers fort étroits. Presque tous les ascenseurs installés jusqu'ici fonctionnent par l'eau sous pression, le plus souvent branchés directement sur les conduites d'eau de distribution. Dans Paris les eaux de source sont surtout employées pour la manœuvre des ascenseurs à cause de leur pression élevée ; et cependant l'eau manque parfois à Paris, dans la bonne saison; bien que des conduites en apportent chaque jour un volume énorme. Les ascenseurs électriques permettront d'éviter des dépenses d'eau inutiles. La consommation d'énergie électrique pour les applications de ce genre sera certainement plus logique.

On rencontre du reste actuellement dans Paris et en général dans toutes les grandes villes quelques ascenseurs électriques; le nombre n'en est pas très élevé, mais il ne peut que s'accroître très rapidement. On se souvient des premiers essais tentés autrefois par M. Chrétien. Des expériences récentes ont été faites en plusieurs immeubles, et les résultats ont été très satisfaisants. Les ascenseurs, qui doivent être mis en mouvement par des moteurs à courants alternatifs, présentent beaucoup plus de difficultés, en raison du démarrage sous charge. Mais nous savons qu'aujourd'hui des maisons très sérieuses étudient ce problème, et il n'est pas douteux qu'avant peu de temps elles obtiendront une solution pratique. Nous allons plus loin donner quelques renseignements sur cette intéressante question. Les ascenseurs électri-

ques vont devenir très importants surtout maintenant en présence des nouvelles taxes très élevées pour la fourniture de l'eau à Paris.

Sans entrer dans tous les détails techniques des ascenseurs, nous voulons toutefois indiquer quelques-unes des dispositions actuellement employées, et faire connaître également les dépenses approximatives résultant de leur emploi.

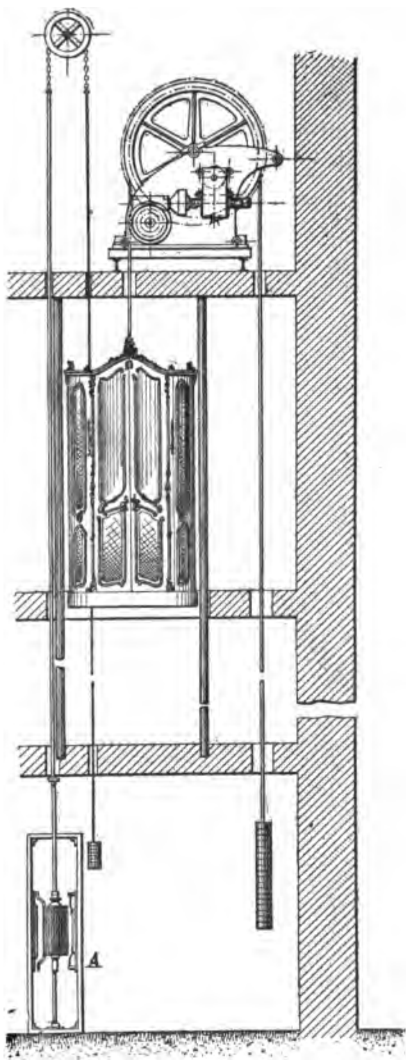


Fig. 218. — Schéma d'installation d'un ascenseur électrique Edoux.

α. Dispositions actuelles des ascenseurs électriques.

Nous indiquerons tout de suite les principes généraux des ascenseurs électriques que construisent à Paris M. Edoux d'une part, et la Société L'Eclairage électrique d'autre part. La première installation d'as-

censeur électrique à Paris a été faite en 1890. L'ascenseur Edoux, que représente notre Fig. 218, est formé d'une cabine se déplaçant entre des guides. Cette cabine est entraînée par un câble métallique qui reçoit le mouvement d'un treuil électrique placé à la partie supérieure dans notre figure, mais pouvant tout aussi bien se trouver à la partie inférieure. Le treuil est commandé par un moteur électrique alimenté par la distribution générale. Nous n'avons pas à examiner ici la question de sécurité, question qui reste

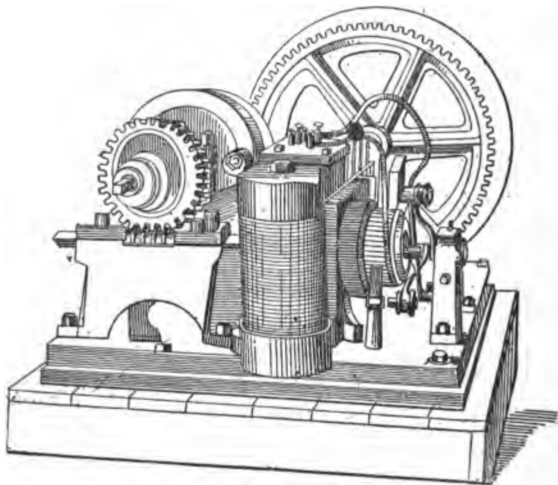


Fig. 219. — Vue d'ensemble du treuil électrique pour ascenseurs, construit par la Société *L'Eclairage électrique*.

toujours la même pour tous les systèmes d'ascenseurs, et pour laquelle plusieurs précautions ont déjà été prises (parachutes, etc). Nous signalerons dans l'ascenseur Edoux l'arrêt automatique qui est obtenu par l'introduction en circuit d'une résistance plus ou moins grande. La disposition générale est représentée sur notre Figure

En A est le rhéostat, dont la manette peut être déplacée par une corde spéciale manœuvrable à la main.

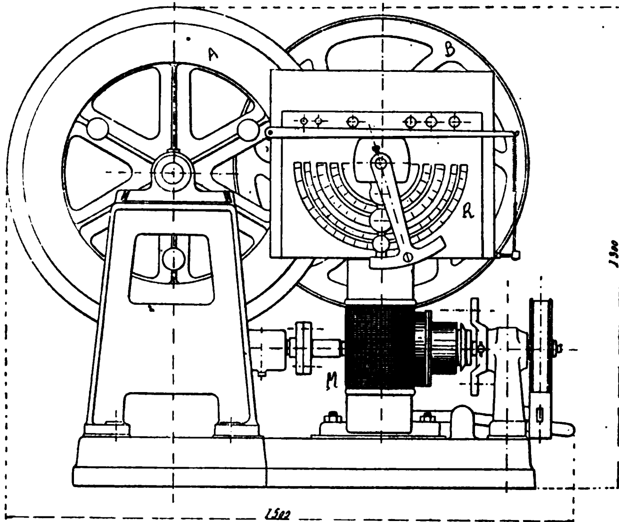


Fig. 220. — Vue en élévation du treuil électrique pour ascenseurs construit par la Société L'Eclairage électrique.

La société des ascenseurs Edoux installe actuellement plusieurs appareils avec servo-moteur. Nous avons pu voir dernièrement le montage d'un ascenseur de ce genre rue Albouy. Dans la cabine se trouvent des contacts qui ferment le circuit électrique sur un appareil intermédiaire et celui-ci à son tour ferme le circuit général du moteur qui actionne le treuil.

La Société *L'Eclairage Electrique* a installé déjà dans Paris plusieurs ascenseurs électriques, que nous sommes heureux de pouvoir faire connaître. La Fig. 219 en représente une vue d'ensemble, et les trois Fig. 220, 221 et

222 les vues en coupe, en profil et en plan. Un moteur électrique de 3,6 kw à 440 volts et 700 tours par minute commande, à l'aide d'une vis tangente et d'un engrenage,

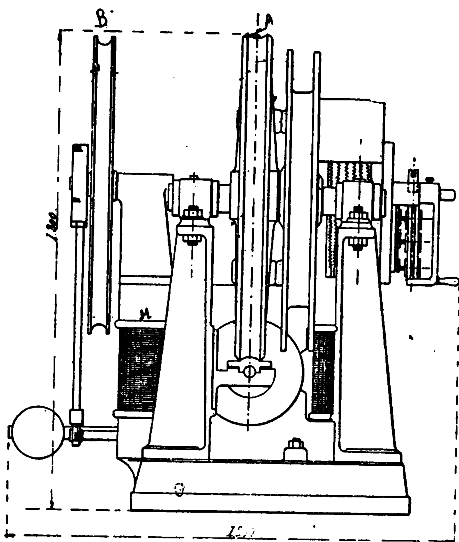


Fig. 221. — Vue de profil du même treuil.

un tambour sur lequel s'enroule la corde de l'ascenseur. L'effort sur le câble atteint environ 600 kg; la vitesse de déplacement est de 0,25 à 0,30 m par seconde.

M. L. Neu, à Lille, a fait dernièrement une installation d'ascenseur électrique pour desservir les quatre étages et le sous-sol d'une maison dont l'éclairage était effectué au moyen d'un moteur à gaz et d'une machine dynamo à laquelle on a adjoint une batterie d'accumulateurs. C'est à cette batterie qu'est empruntée l'énergie

nécessaire à la marche de l'ascenseur pendant les périodes d'arrêt du moteur.

L'ascenseur comporte : une chambre verticale ou puits

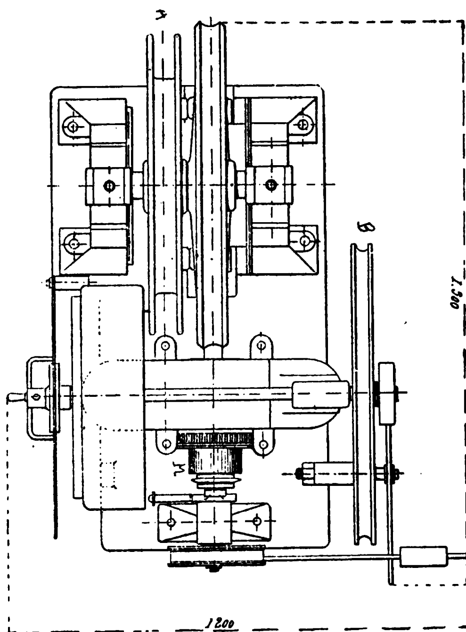


Fig. 222. — Vue en plan du même treuil.

où se déplace la cage; un guidage qui a été constitué par des pièces de bois armées de fer, boulonnées dans les parois du puits; une cage portant quatre oreilles en fer venant coulisser sur les armatures du guidage. La cage est munie d'un parachute à griffes comportant deux bras articulés auxquels est attaché le câble de levage. En cas de rupture de ce câble les deux griffes, brusquement

écartées par un puissant ressort, viennent mordre dans les bois du guidage et empêcher la chute de la cage.

L'appareil de levage placé sur une charpente à la partie supérieure du puits est un treuil électrique comportant une dynamo réceptrice de 1300 watts actionnant par une vis sans fin un engrenage calé sur le même arbre que le tambour du treuil. Pour économiser la dépense d'énergie électrique un contre-poids équilibre le poids de la cage plus la moitié de la charge probable.

A cet effet le câble (câble de 15 mm) après avoir fait deux tours sur le tambour d'enroulement du treuil passe sur un galet de renvoi et vient supporter le contre-poids qui descend dans un des angles du puits. Pour éviter le chevauchement des spires du câble on a dû donner au tambour d'enroulement une forme creuse spéciale. La dynamo réceptrice employée est excitée en série : cette disposition a été adoptée malgré les variations d'allures sous charges variables afin d'éviter la petite consommation supplémentaire d'électricité qui serait résultée de l'emploi d'un moteur en dérivation dont le champ aurait dû être excité toute la journée, à moins de recours à des appareils de mise en marche trop compliqués. Une corde sans fin, régnant sur toute la hauteur du puits d'une part et passant dans des trous ménagés dans le plancher et le plafond de la cage et descendant d'autre part à l'extérieur du puits, permet ainsi la manœuvre de l'appareil de mise en marche que l'on soit à l'intérieur de la cage ou à l'un quelconque des étages de la maison. L'appareil de mise en marche manœuvré par cette corde consiste en un cadran à touches faisant office de commutateur bi-polaire à deux directions et faisant traverser au courant une résistance graduée en maillechort de façon à

éviter les à-coup sur l'armature au démarrage et à diminuer les étincelles de rupture à l'arrêt. Les contacts sont du reste établis par des blocs en charbon reliés par des fils souples; une roue à empreintes calée sur l'arbre du commutateur porte une chaîne reliée à la corde de manœuvre.

Pour obtenir l'arrêt précis de la cage avec rapidité aussi bien à la descente qu'à la montée on a dû ajouter un frein à l'appareil. Etant donné l'emploi d'un moteur en série on n'a pu avoir recours au freinage si puissant du shuntage de l'armature sur faible résistance. On a employé un frein à sabot agissant sur une roue calée sur l'arbre même de la vis sans fin.

Le sabot est appliqué sur la roue par un contre-poids. Ce contre-poids est relié par un système de leviers à l'armature d'un gros solénoïde monté en tension avec la dynamo réceptrice; il en résulte qu'au moment de la fermeture du courant le contre-poids du frein est soulevé par l'armature du solénoïde, et qu'au moment de la rupture du courant cette armature laisse retomber brusquement le contre-poids du frein qui arrête instantanément la cage.

L'installation d'un ascenseur de cette espèce ne comportant aucun des travaux coûteux nécessités par les appareils similaires marchant hydrauliquement a l'avantage d'avoir pu être faite dans des conditions particulièrement économiques.

Plusieurs autres maisons importantes de Paris, telles que la maison Roux et Combaluzier, s'occupent activement des ascenseurs électriques ; mais on ne signale pas encore de grandes installations.

Il existe aussi un ascenseur Otis, très connu et très

employé en Amérique; notre Fig. 223 représente une installation de ce genre. Le treuil de l'ascenseur est actionné par un moteur électrique, dont le mouvement

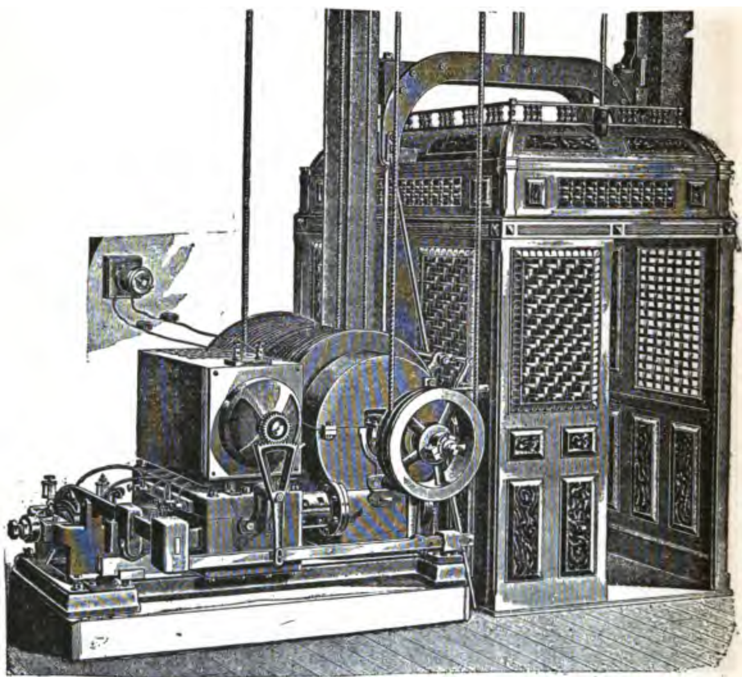


Fig. 223 — Dispositions générales d'un ascenseur électrique Otis.

peut être changé au moyen d'un rhéostat commutateur. Ce rhéostat peut être manœuvré facilement à l'aide d'une barre. Aux courses extrêmes, un cliquet maintient un levier en cette position jusqu'à ce qu'on le relève à la main. Des ressorts ramènent alors la barre à sa position et arrêtent l'ascenseur.

L'*Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft*, de Berlin, a également équipé quelques treuils pour ascenseurs élec-

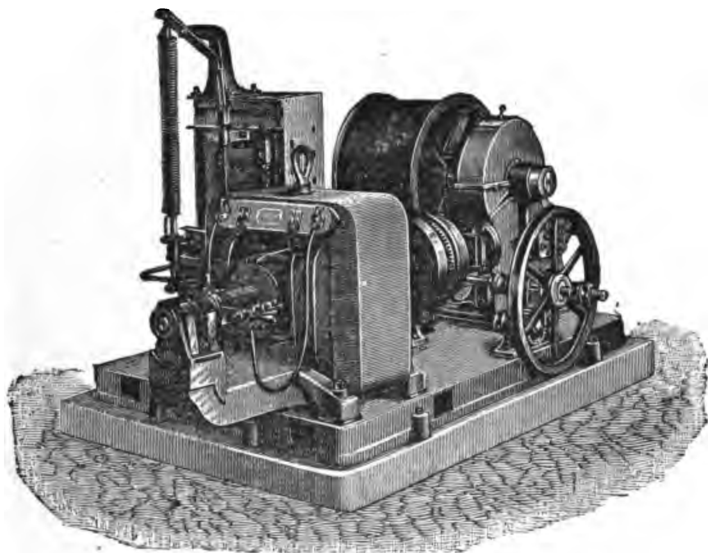


Fig. 224. — Vue d'ensemble de treuils électriques pour ascenseurs de l'*A. E. Gesellschaft*.

triques. Les Fig. 224 et 225 nous en montrent les dispositions générales.

La figure 224 est la vue d'ensemble et la figure 225 représente la vue en élévation et le plan de l'appareil. Un moteur électrique actionne par engrenages ou vis tangentes le tambour d'enroulement du câble qui commande l'ascenseur.

Les Fig. 226 et 227 nous représentent les modèles d'ascenseurs électriques de la Keystone Electric C° et de MM. Morse, Williams et C°, en Amérique. La Fig. 228 est un ascenseur électrique Gearless, dans lequel on re-

marquera qu'un moteur électrique multipolaire commande directement le tambour sur lequel s'enroulent les câbles.

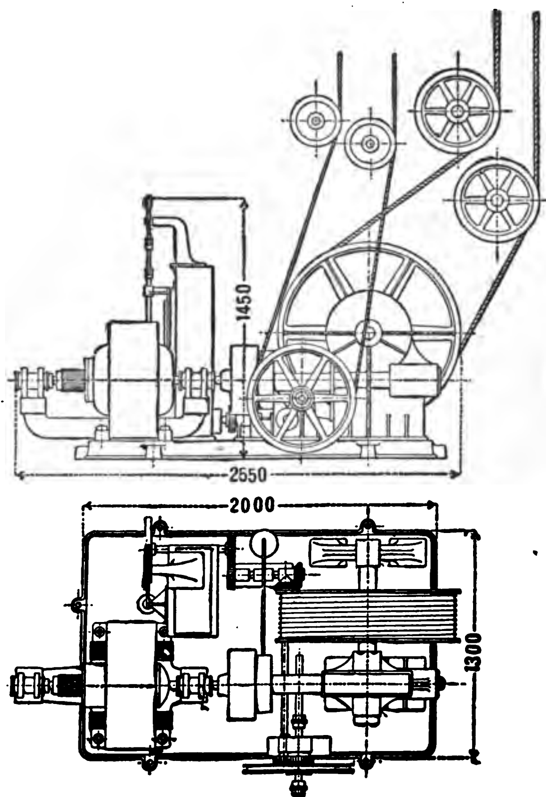


Fig. 225. — Vue en élévation et en plan des treuils électriques pour ascenseurs de l'*A. E. G.*

En dehors des interrupteurs et des appareils permettant d'augmenter la résistance dans le circuit au moment de l'arrêt, il est indispensable d'avoir des rhéostats automatiques pour éviter des vitesses trop rapides. L'appa-

reil (Figure 229) en est un modèle; il consiste en un rhéo-

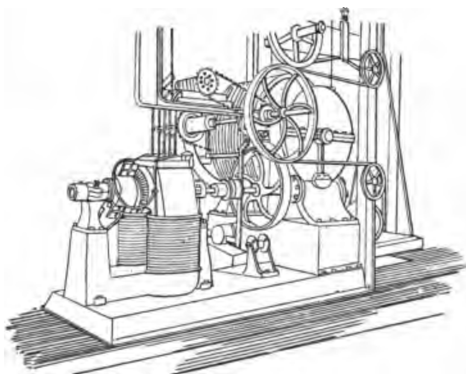


Fig. 226. — Ascenseur électrique de la Keystone Electric C°

stat dont le levier peut être mis en mouvement à l'aide de la

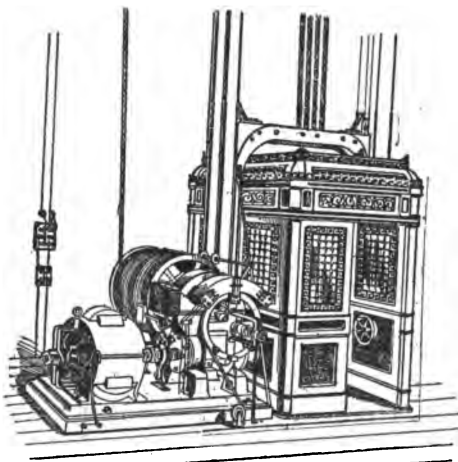


Fig. 227. — Ascenseur de la maison Morse, Williams et C°

transmission par une poulie engagée sur le câble de l'ascenseur.

En dehors des ascenseurs actionnés directement par les moteurs électriques, nous signalerons aussi un autre dispositif employé à Berlin et qui a donné, paraît-il, des

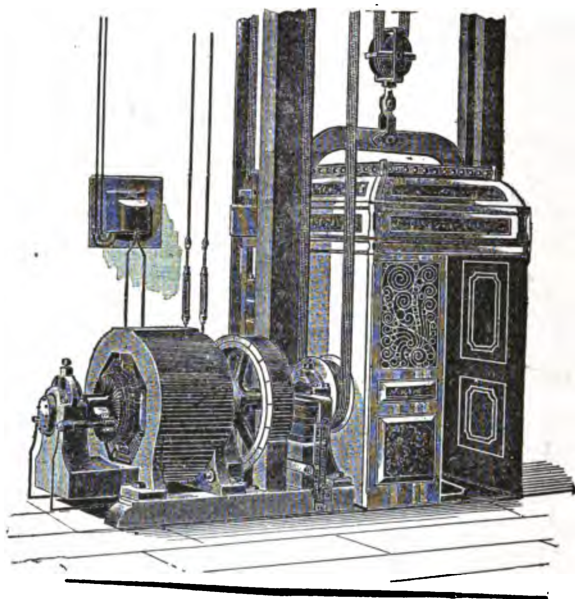


Fig. 228. — Ascenseur électrique Gearless.

résultats satisfaisants. Les ascenseurs sont actionnés hydrauliquement par une certaine quantité d'eau élevée dans un réservoir supérieur. Après une ascension l'eau est rejetée dans une citerne placée dans le sol ; un moteur électrique actionne une pompe qui refoule l'eau sous pression dans le réservoir établi dans le haut de la maison. La même eau ressert indéfiinimeṇt et le moteur

électrique travaille toujours dans de bonnes conditions de puissance. Le même principe a été appliqué depuis longtemps, mais avec une pompe commandée par moteur à gaz ou autre moteur.

La société *L'Eclairage Electrique* et MM. Roux et Combaluzier font actuellement des ascenseurs semblables, qu'ils appellent hydro-électriques. L'eau est prise une première fois sur la conduite des eaux de la Ville ; puis elle est pompée à diverses reprises pour les manœuvres ; elle n'est changée que de temps à autre.

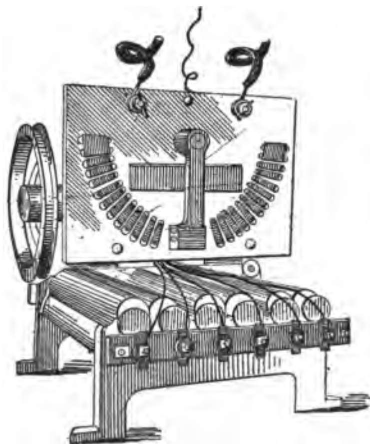


Fig. 229. — Rhéostat automatique pour ascenseurs.

Nous avons dit plus haut que les ascenseurs actionnés par des moteurs à courants alternatifs simples présentaient plus de difficultés. En effet ces moteurs ne peuvent facilement démarrer sous charge, comme nous l'avons montré dans le chapitre précédent. Il serait donc nécessaire avec ces moteurs de les faire démarrer à vide afin de faire fonctionner l'ascenseur. Cette manœuvre ne demanderait peut-être que quelques secondes ; mais on ne saurait l'obtenir du public. Il est donc indispensable de chercher une solution ; nous pouvons assurer qu'on y travaille en ce moment. Peut-être sera-t-on amené à disposer un transformateur de courants alternatifs simples en courants diphasés. Quoi qu'il en soit, les ascenseurs fonctionneront certainement

dans peu de temps aussi bien sur courants alternatifs que sur courants continus.

β. Prix de revient. Dépenses comparatives.

Il est bon de fixer par quelques chiffres les dépenses comparatives des ascenseurs électriques et des ascenseurs à eau (de ville) prise sur les conduites de distribution ou montée dans des réservoirs supérieurs à l'aide de moteurs à gaz et de pompes.

L'A. E. G. de Berlin a déterminé quelques chiffres, que nous pourrons appliquer à Paris. Elle a trouvé :

DÉPENSES en CENTIMES.	POMPE moteur à à gaz.	EAU (conduite de la ville).	MOTEUR ÉLECTRIQUE
Pour une montée à 23,4 m (0,152 tonne-mètre)	1,9	11,55	1,18
Pour 1 tonne-mètre	12,5	75,9	7,8

A ces dépenses, il faudrait ajouter les salaires d'un mécanicien pour la mise en marche du moteur à gaz. Les différences sont suffisamment explicites.

Le gaz est vendu à Berlin à raison de 0,16 fr le m³ au lieu de 0,30 fr à Paris, soit 1,875 fois moins cher; l'eau est livrée à Berlin à raison de 0,1875 fr au lieu de 0,30 fr à Paris, soit à un prix 1,6 fois moins élevé; l'énergie électrique est vendue pendant la journée à Berlin 0,225 fr le kwh, et à Paris 0,60 fr (avec rabais, il est vrai), soit 2,66 fois moins cher.

Si nous appliquons les prix de Paris, en tenant compte des rapports indiqués, nous trouvons :

DEPENSES en CENTIMES	POMPE ET MOTEUR à gaz.	EAU (conduite de la ville).	MOTEUR élec-trique.	ÉCONOMIE EN POUR 100 EN FAVEUR DES ASCENSEURS ÉLECTRIQUES sur les moteurs à gaz et pompe.	sur les ascenseurs à eau de la ville.
Pour une montée à 23,4 m	3,5	18,48	3,14	10,5	83
Par tonne-mètre	23,4	121,4	20,75	»	»

Ces quelques chiffres montrent tout l'intérêt qu'il y a à répandre l'emploi des ascenseurs électriques.

Si nous considérons maintenant les résultats obtenus en pratique avec ces appareils, nous trouvons que les ascenseurs électriques peuvent donner de grandes économies sur les ascenseurs hydrauliques. A Paris, rue du Faubourg-Montmartre, un ascenseur hydraulique dépensait en moyenne par an une somme de 1200 fr. Depuis qu'il fonctionne électriquement, la dépense annuelle ne dépasse pas 250 fr. Il en résulte une grande économie, comme on le voit, bien que le nombre des montées et descentes ait sensiblement augmenté. Cette économie atteint 950 fr par an sur 1200 fr, soit 79 pour 100. Ce chiffre se rapproche beaucoup de celui que nous avons donné plus haut.

Les considérations que nous avons indiquées auront encore plus de poids aujourd'hui où la Ville de Paris vient de mettre en vigueur un nouveau règlement concernant la concession des eaux de source. D'après ce règlement l'eau de source employée à faire mouvoir les engins mécaniques au moyen de la pression qu'elle possède sera payée à part et à raison de 0,60 fr par mètre cube d'eau consommée, pour une consommation ne dé-

passant pas 20 m³ par an et par personne habitant les immeubles désignés. Les excédents seront payés à raison de 0,35 fr le m³. Les prix que nous avons indiqués doivent donc être doublés.

La situation est par suite très favorable aujourd'hui pour l'ascenseur électrique ; attendons-nous à voir bientôt partout ces engins si intéressants.

D. **Monte-charges.**

A côté des ascenseurs doivent être placés les monte-charges appelés à rendre dans l'industrie des services encore plus importants.

Le nombre des monte-charges électriques utilisés aujourd'hui est très élevé: il suffit, du reste, pour réaliser un monte-charges, d'actionner électriquement un treuil sur lequel vient s'enrouler une corde qui commande à son tour un monte-charges. Les appareils de cette nature sont surtout utilisés dans la marine où ils sont très employés pour les charges des soutes.

La maison Breguet a construit jusqu'ici un grand nombre de monte-charges en adaptant divers appareils sur les treuils qu'elle fabrique; nous en verrons plus loin les dispositions.

La maison Sautter-Harlé, dont la réputation n'est plus à faire, construit également un grand nombre d'appareils semblables pour la guerre et la marine; mais ces applications commencent à être utilisées dans l'industrie. Nous citerons divers monte-charges électriques (1) établis

(1). Les figures 231, 232 et 233, se rapportant au monte-voitures de la Cie l'*Abeille* et au monte-charges Révillon, ont été supprimées.

par la maison Sautter-Harlé dans les ateliers de MM. Crespin et Dufayel, à Paris, et un monte-fûts que représente notre figure 230. Un moteur électrique de 1000 watts environ commande un treuil électrique qui actionne une chaîne sans fin pour élever les fûts. On peut ainsi débiter environ 140 fûts par heure.

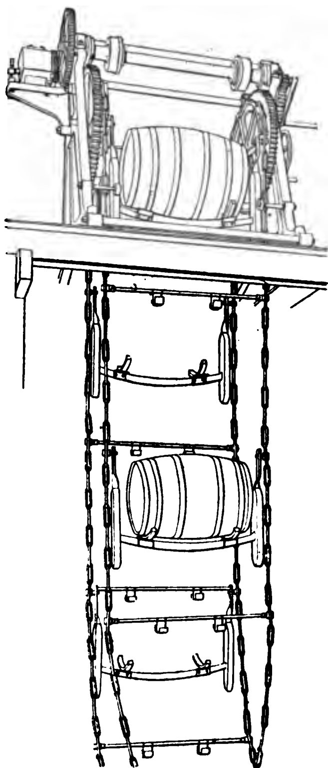


Fig. 230. — Monte-fût actionné par un moteur électrique.

La maison Julien, à Paris, a fait plusieurs installations de monte-charges qui méritent d'être mentionnées. Nous citerons un monte-voitures électrique de 600 kg au dépôt de la Cie des voitures *L'Abeille*, à Paris, et deux monte-charges semblables à la manufacture française d'armes de Saint-Etienne.

M. Andricon, ingénieur de la maison Révillon frères à Paris, a fait une installation de monte-charges réellement pratique, sur laquelle nous pouvons donner quelques détails.

Ce monte-charges sert à élever les escarbilles et déchets de charbons du sous-sol, où se trouve installée l'usine, au rez-de-chaussée. Nous croyons utile de donner, sur cette installation, quelques renseignements qui pourront être utiles dans bien des cas.

Le monte-charges est actionné par un moteur Gramme à courants continus, de 0,440 kilowatt à 110 volts, tournant à la vitesse angulaire de 1500 tours par minute. L'arbre de la dynamo est prolongé par une vis en acier qui entraîne une roue hélicoïdale en bronze. Celle-ci est montée sur un arbre qui porte à son extrémité une poulie à joues sur laquelle s'enroule la chaîne du monte-charges. Ce dernier est du modèle ordinaire avec frein.

Le fonctionnement est des plus simples. Le circuit qui alimente le moteur renferme un interrupteur ordinaire à manette, un électro-aimant avec armature formant interrupteur, et, au niveau du rez-de-chaussée, un interrupteur à charnière. Au moment du départ, on ferme l'interrupteur ordinaire, et l'on appuie sur l'armature de l'électro-aimant. Le moteur se met en marche et la benne contenant la charge s'élève peu à peu. Elle rencontre bientôt le contact à charnière et écarte une des parties formant contact. Le circuit est rompu; l'armature de l'électro est relâchée. Cette disposition de rupture en deux points assure presque l'instantanéité et permet d'éviter des étincelles trop fortes.

Pour la descente, la poulie qui porte la chaîne du monte-charges est rendue indépendante de la roue que commande le moteur, et la benne descend par son propre poids.

Quelques dispositifs de sûreté ont été adoptés ; on remarquera du reste que, en cas d'accident et même d'arrêt du moteur, une charge ne peut retomber à cause de la vis sans fin qui bloque la roue actionnant la chaîne de montage.

La hauteur d'élévation des charges est de 5,50 m; elle est parcourue en une minute environ. Les charges varient de 100 à 150 kilogrammes. Le rendement indus-

triel de cette disposition ou rapport du travail effectué à l'énergie électrique consommée est de 0,25. Ce rendement est minime, en raison de la faible puissance du moteur, des engrenages et de la vis sans fin ; mais la disposition est commode, d'un emploi très facile et rend de grands services.

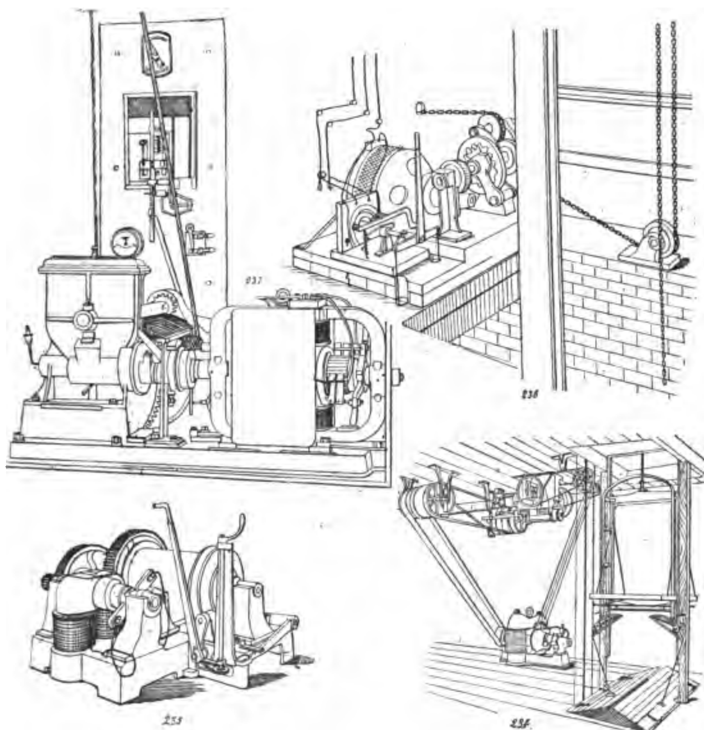


Fig. 234 à 237. — Installations diverses de monte-charges électriques.

La Société *L'Eclairage électrique* a installé aussi de nombreux monte-charges et notamment deux dans la filature Wibaux-Florin, à Roubaix.

Les installations de monte-charges sont nombreuses aujourd'hui, et les dispositions sont essentiellement variables dans chaque cas. Nous donnons dans le tableau ci-joint p. 249 quelques vues d'ensemble d'installations. La Fig. 234 nous montre, à New-York, un moteur Sprague commandant par transmission intermédiaire un treuil qui actionne un monte-charges. La Fig. 235 nous fait voir la disposition générale des treuils pour monte-charges établis par la General Electric C°, de New-York. Les ateliers d'Oerlikon ont adopté dans leurs usines la disposition représentée par la Fig. 236 : un moteur électrique commande par engrenages un treuil sur lequel s'enroulent les chaînes des monte-charges. L'*Elektricitæts Aktiengesellschaft*, de Nuremberg, fabrique des monte-charges avec moteurs électriques de 10,400 kw à 850 tours par minute, commandant un treuil sur lequel s'enroulent les cordes qui guident le monte-charges (Fig. 237).

Il nous faudrait également citer ici les appareils de l'*Allgemeine E. Gesellschaft*, des ateliers d'Oerlikon et d'un grand nombre de compagnies françaises et étrangères qui fabriquent ces engins.

Nous nous contenterons d'indiquer qu'il existe déjà un grand nombre de monte-charges électriques en service courant sur les réseaux de distribution d'énergie électrique. A Fiume, par exemple, il existe quatre élévateurs de 10 chevaux, commandés par des moteurs électriques à courants alternatifs Ganz branchés sur la canalisation de distribution. A Aix-la-Chapelle, un monte-charges pour les matériaux, pendant la construction d'une église, a été actionné par un moteur électrique de 3,410 kw à 1050 tours par minute.

Nous retiendrons tout particulièrement cette dernière

application, et nous nous demanderons si, pendant les constructions dans les grandes villes, comme à Paris, il n'y aurait pas intérêt à employer des monte-charges électriques. On remplacerait ainsi les locomobiles à vapeur par un appareil spécialement combiné et qui pourrait être branché facilement sur un réseau par une prise mobile. Les constructeurs y trouveraient un appareil fonctionnant avec économie, et les stations centrales la fourniture d'une certaine quantité d'énergie électrique pendant la journée.

Nous pouvons donner ci-après quelques résultats sur les prix de revient. A Liverpool, en Angleterre, on a établi une grande distribution de force motrice par l'eau sous une pression de 5 kg par centimètre carré en moyenne. En 1890, on comptait 10 ascenseurs pour voyageurs, 114 monte-charges actionnés, ainsi qu'un grand nombre d'appareils divers. Au prix de 0,155 le m^3 d'eau, et pour des monte-charges pouvant élever 3,5 t, 4,8 t et 25 tonnes, et effectuant par jour 18,37 et 197 voyages, la dépense d'eau par tonne-mètre est de 5,77 centimes, 4,58 centimes et 4,04 centimes. Pour d'autres monte-charges pouvant élever respectivement 7,3 t, 6,4 t et 5,5 t à des hauteurs de 7,92 m, 4,72 m et 8,08 m et effectuant par jour 24, 9 et 27 voyages, les dépenses par tonne-mètre étaient de 1,14 centime, 3,84 centimes et 1,97 centime. Dans cette même ville, on a également employé des moteurs à vapeur de 10 chevaux et des moteurs à gaz de puissance presque semblable. Les dépenses moyennes annuelles ont varié de 2,2 à 6 centimes par tonne-mètre pour les moteurs à vapeur, et de 1,75 à 0,93 centime pour les moteurs à gaz.

Les dépenses d'exploitation pour les moteurs élec-

triques, établies après une année d'exploitation, ont été de 0,20 à 0,32 centime par tonne-mètre.

E. Ventilateurs.

La ventilation électrique est une des applications qui s'est répandue très rapidement. Nous distinguerons deux sortes d'appareils : les ventilateurs d'appartements ou éventails électriques, et les ventilateurs proprement dits. Nous passerons ensuite en revue quelques applications. Nous aurons donc les trois divisions suivantes :

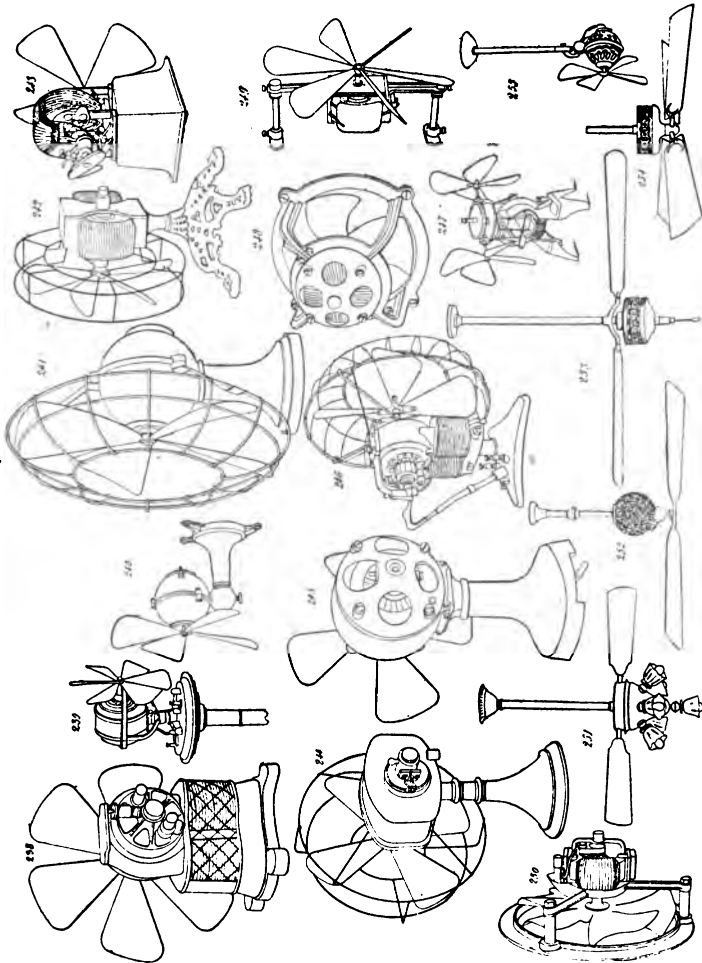
α. Ventilateurs d'appartements.
β. — pour usines, ateliers.
γ. Installations diverses de ventilation.

α. Ventilateurs d'appartements.

Ces appareils ne sont pas à proprement parler des ventilateurs ; ce sont plutôt des agitateurs d'air ou éventails électriques. Un moteur électrique de faible puissance est mis en mouvement sur une prise de courant remplaçant une lampe ordinaire. Il actionne une hélice ou une série de palettes montées sur son arbre ; ces palettes dans leurs mouvements agitent l'air d'une salle et le déplacent. La ventilation réelle peut toutefois être assurée si l'on a prévu des ouvertures d'aspiration et de refoulement de l'air extérieur.

Les modèles sont fort nombreux et peuvent être appropriés aux différentes salles que l'on veut ventiler. Nous avons tenu toutefois à présenter dans le tableau suivant quelques-unes des formes que l'on rencontre aujourd'hui avec moteurs soit à courants continus, soit à courants

alternatifs. Le ventilateur Fig. 238 est actionné par un moteur Holtzer-Cabot de 73,6 watts à 110 volts et tourne



Figures 238 à 255. — Modèles divers de ventilateurs électriques.

à la vitesse angulaire de 1100 ou 1600 tours par minute.

Le ventilateur Fig. 239 est mis en mouvement par un moteur à courants alternatifs Emerson de 100 watts ; il est monté sur un tabouret et tourne sur lui-même environ 20 à 25 fois par minute. L'appareil Fig. 240 est un ventilateur applique et le modèle Fig. 241 un ventilateur à pied ; ces deux ventilateurs sont actionnés par des moteurs Lundell, dont nous avons parlé précédemment. Ces moteurs pour ventilateurs ont des puissances variables de 50 à 3500 watts à la différence de potentiel de 110 volts ; ils peuvent tourner à des vitesses angulaires variant de 1500 à 800 tours par minute. Le ventilateur Fig. 242 est un ventilateur à pied Cuttriss actionné par un moteur à courants alternatifs fonctionnant à une fréquence de 80 à 120 périodes par seconde et à 110 volts.

Le ventilateur Fig. 243 est un autre modèle avec moteur de 100 watts pour courants alternatifs, construit par l'Excelsior Electric C°, de New-York. Le ventilateur Fig. 244 est construit par l'*Elektricitæts Aktiengesellschaft*, de Nuremberg ; le moteur, monté sur pied est à courants continus et a une puissance de 50 watts. La Fig. 245 nous représente un modèle de ventilateur actionné par moteurs à courants alternatifs, construit par les ateliers d'Oerlikon. La Fig. 246 nous montre le ventilateur cyclone, qui a la propriété de tourner sur lui-même et de créer tout autour un véritable courant d'air. Un autre modèle de ventilateur analogue avec rotation sur lui-même est représenté dans la figure 247. Dans certains cas, on peut avoir à fixer des ventilateurs contre un mur, dans lequel il est justement facile d'établir une ouverture pour l'évacuation au dehors ou pour un appel d'air. Les Figures 248, 249 et 250 représentent les dispositions adoptées par les ateliers d'Oerlikon, par une société amé-

ricaine et par la *Cuttris, Wallis et C°*, de Leeds. Il peut être avantageux parfois de disposer les ventilateurs au milieu d'une pièce, avec une tige au plafond, au-dessous d'un lustre; les Figures 251, 252, 253, 254 et 255 indiquent quelques-uns des modes de suspension adoptés dans ces cas.

Nous n'avons fait que signaler quelques modèles, mais ils suffisent pour convaincre que l'on peut trouver aujourd'hui couramment dans le commerce tous les ventilateurs désirables.

β. Ventilateurs pour usines et ateliers.

A côté des ventilateurs-éventails, dont nous avons parlé dans le paragraphe précédent, nous devons signaler des ventilateurs proprement dits avec aspiration d'air au dehors et refoulement au dedans sous pression. Ces ventilateurs ont été employés depuis longtemps dans la marine; mais on en trouve aujourd'hui un grand nombre dans les usines et ateliers.

La maison Breguet, à Paris, construit des ventilateurs à hélices actionnés par des moteurs de 150, 450 et 750 watts; à la vitesse angulaire de 2000 tours par minute, ces ventilateurs fournissent des débits de 1000, 1800 et 2600 mètres cubes d'air par heure sous les pressions de colonnes d'eau de 2, 4 et 6 millimètres. Elle construit aussi d'autres ventilateurs actionnés directement par des moteurs électriques et qui peuvent fournir des débits variables de 3500 à 20 000 mètres cubes d'air par heure sous des pressions variables.

Les Fig. 256 et 257 nous donnent les coupes latérale et longitudinale d'un ventilateur fournissant par heure

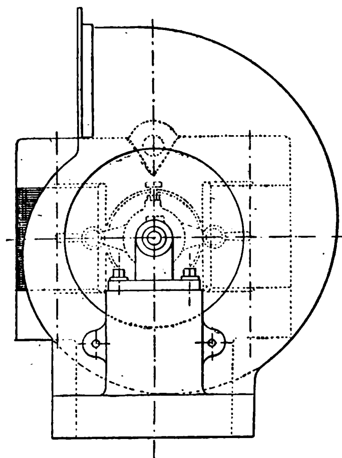


Fig. 256. — Ventilateur électrique de la maison Breguet. Coupe latérale.

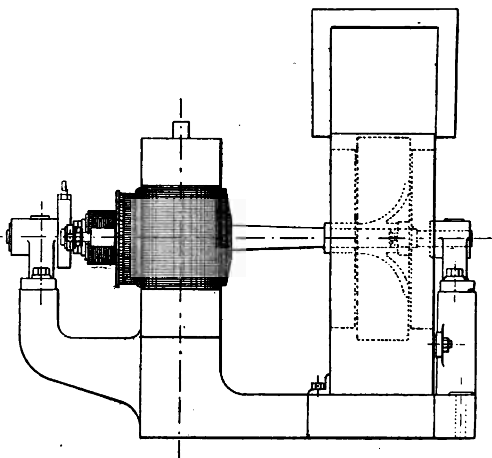


Fig. 257. — Ventilateur électrique de la maison Breguet. Coupe longitudinale.

Fig. 258. — Ventilateur électrique de la maison Breguet. Modèle de 20000 m³ d'air par heure. Coupe longitudinale.

3500 m³ d'air sous la pression d'une colonne d'eau de 35 mm de hauteur, à la vitesse angulaire de 1900 tours

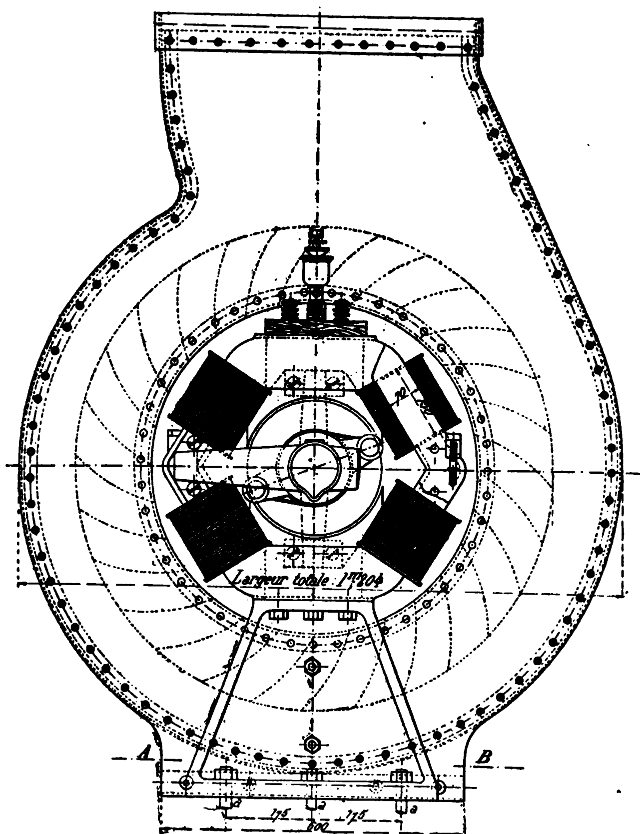


Fig. 259. — Même ventilateur électrique. Coupe latérale.

par minute. Le moteur électrique consomme 75 volts par 27 ampères, soit 2100 watts. Le diamètre du disque est de 40 centimètres, le diamètre de l'ouverture d'aspiration

est de 23 centimètres et la section de refoulement est de 420 centimètres carrés. Le ventilateur a un poids total de 425 kg.

Les Figures 258 et 259 se rapportent aux coupes longitudinale et latérale d'un ventilateur fournissant 20 000 m³ d'air par heure sous la pression d'une colonne d'eau de 20 mm, à 850 tours par minute. Le moteur électrique monté directement sur l'arbre du ventilateur consomme 75 volts par 48 ampères, soit 3600 watts. Le diamètre du disque est de 95 centimètres et la section de refoulement est de 3200 cm². Le ventilateur total pèse 850 kg.

Les maisons Gramme, Hillairet et Sautter-Harlé fabriquent également une série de ventilateurs avec moteurs

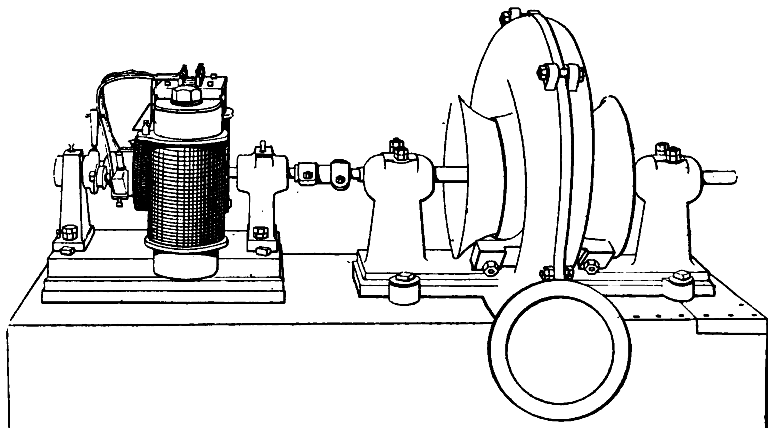


Fig. 260. — Ventilateur électrique construit par la Société L'Eclairage électrique.

électriques montés directement sur l'arbre; les puissances électriques consommées et les débits d'air varient entre les limites les plus étendues.

La Fig. 260 représente un ventilateur attelé directe-

ment sur un moteur type Manchester construit par la Société *L'Eclairage électrique*. Le ventilateur fournit un débit d'air de 1,480 m³ par seconde sous la pression d'une colonne d'eau de 10,1 centimètres; le moteur électrique consomme une puissance de 2,9 kw à 440 volts, et tourne à la vitesse angulaire de 1425 tours par minute.

Dans la Fig. 261 nous voyons un ventilateur de l'*Elektricitæts Aktiengesellschaft*, dont le moteur consomme

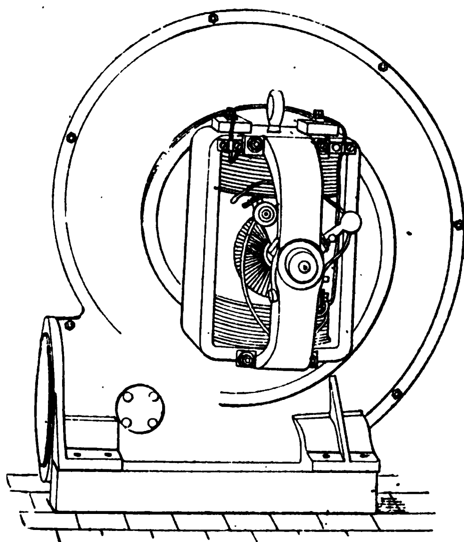


Fig. 261. — Ventilateur électrique de l'*Elektricitæts Aktiengesellschaft*.

2600 vatts à 1100 tours par minute. Le ventilateur débite 65 m³ d'air par minute.

Nous mentionnerons aussi les ventilateurs de l'Allgemeine E. Gesellschaft, qui peuvent fournir des débits de 7 à 160 mètres cubes d'air par minute sous des pressions

de colonnes d'eau de 15 à 125 mm, avec des moteurs électriques consommant des puissances variables, de 140 à 5330 watts. Ces appareils consistent également en ventilateurs sur l'arbre desquels sont attelés directement les moteurs électriques.

Nous terminerons cette courte énumération en décrivant la disposition du ventilateur Sturtevant (Fig. 262). Le moteur électrique est monté directement sur le ven-

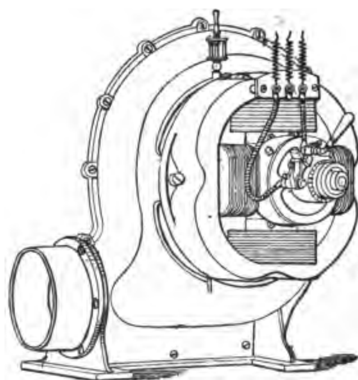


Fig. 262. — Ventilateur électrique Sturtevant.

tilateur lui-même, avec le collecteur en dehors. Ces ventilateurs, à la fois aspirants et refoulants, consomment des puissances électriques de 100 à 500 watts, fournissent des débits de 8 à 80 m³ d'air par minute, et tournent à des vitesses angulaires variables, de 2000 à 850 tours par minute.

γ. Installations diverses de ventilation.

Avec les appareils que nous venons de décrire, il est facile d'assurer la ventilation dans divers locaux (usines,

ateliers), sans grands frais d'installation. Il suffit de ménager des conduites d'aspiration et des conduites de refoulement. Nous citerons cependant quelques exemples de ventilation électrique.

Dans l'Hôtel de Ville de Paris, il existe 35 ventilateurs électriques, desservis par une distribution spéciale d'énergie électrique à 110 volts. Ces ventilateurs consomment 6,6 kw chacun, et tournent à la vitesse angulaire de 1450 tours par minute. Le débit total d'air est environ de 120 000 m³ par heure.

Dans l'usine des Halles, on a également installé deux ventilateurs de cinq chevaux, actionnés par des moteurs électriques Hillairet à 230 volts. L'air refoulé par ces ventilateurs créerait dans l'usine un courant fort dangereux, s'il faut en croire les critiques formulées de toutes parts contre cette innovation, bonne en elle-même, mais conçue et exécutée dans de mauvaises conditions.

A la Bourse du Travail, un moteur électrique de 4,416 kw branché sur le circuit de distribution actionne un ventilateur qui peut fournir par heure 30 000 mètres cubes d'air à la pression de 0,08 m d'eau. Les résultats n'ont pas été des plus satisfaisants et les dépenses ont été fort élevées. Mais il faut remarquer que le moteur électrique est compound et marche à une vitesse constante et que l'on n'a pas prévu une vanne graduatrice sur la conduite d'air de refoulement pour faire varier le débit d'air suivant les besoins. Il en résulte que la ventilation est toujours assurée au maximum. Il n'est pas étonnant que les dépenses aient été élevées dans ces conditions. Mais il sera facile de remédier à cet état de choses par l'adjonction d'une vanne graduatrice.

Nous ne pourrions ici signaler toutes les applications

de ventilation électrique qui ont été réalisées dans les grandes villes à l'aide d'appareils branchés sur les réseaux de distribution. Nous en citerons quelques-unes réalisées à Paris par la maison Daniel Sack, Hubert et Cie. Dans un sous-sol de la rue Vivienne, où se fait le battage des tapis, cette maison a installé un ventilateur, actionné par un moteur électrique de 73 watts à 110 volts, et qui fournit 45 m³ d'air par heure à la pression de 4 mm d'eau et à la vitesse angulaire de 1800 tours par minute. Ce ventilateur aspire au dedans l'air surchargé de poussière et le refoule au dehors. Nous citerons encore, parmi un grand nombre d'autres applications, la ventilation de la salle d'Harcourt, du théâtre Français, du restaurant Scossa, de la brasserie Dreher, du café Riche, etc.

Ces quelques exemples suffisent pour montrer que la ventilation électrique est également une application des plus importantes et qui ne manquera pas de se développer notablement, dans un avenir rapproché, surtout pendant les chaleurs de l'été, dans les grandes villes.

F. Treuils, grues et cabestans.

Nous avons réuni dans ce chapitre plusieurs appareils qui remplissent des fonctions sinon semblables, du moins analogues. Nous examinerons successivement :

α. Treuils. — β. Grues. — γ. Cabestans.

α. Treuils.

Les treuils électriques sont connus depuis longtemps déjà, surtout dans les mines, où ils sont utilisés depuis

de longues années. En 1889, M. Guyenet avait exposé un treuil qui consiste en un moteur Gramme de 2,944 kw à 1200 tours par minute entraînant par friction un arbre portant un tambour double muni de deux cordes de levage. L'appareil est posé sur un bâti en fer qui permet de le déplacer à volonté. Un grand nombre d'applications ont été faites de ces treuils, et la maison Guyenet construit aujourd'hui plusieurs autres modèles, sur lesquels nous ne pouvons insister.

Vers la même époque, la Cie des chemins de fer du Nord faisait installer plusieurs treuils électriques par la maison Hillairet.

Ces appareils (Fig. 262 *bis*) consistent en des chariots à quatre roues, portant deux moteurs électriques, l'un

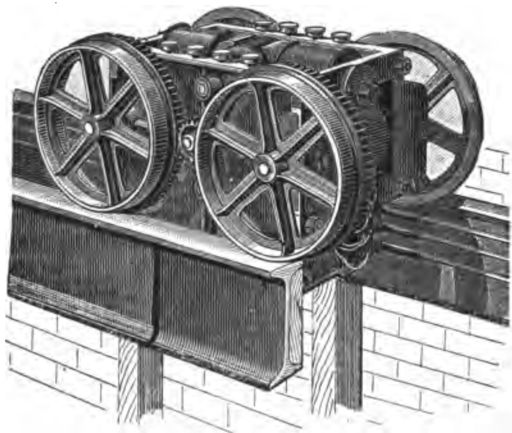


Fig. 262 *bis*. — Treuil électrique de la Cie des chemins de fer du Nord.

pour donner le mouvement au chariot, l'autre pour élever les charges. La transmission du mouvement du moteur électrique est obtenue par des roues dentées agissant sur

les essieux. Le mouvement de la chaîne pour la manœuvre des fardeaux se fait à l'aide d'un pignon denté et d'une vis hélicoïdale. Le chariot peut se déplacer sur une voie ferrée ; les contacts électriques des moteurs avec la canalisation sont établis par le moyen de frotteurs que l'on aperçoit, dans notre figure, à gauche à la partie inférieure.

La maison Sautter-Harlé a construit un grand nombre de treuils plus spécialement destinés aux navires de guerre pour les manœuvres de munitions ou aux autres. Nous citerons cependant en particulier le treuil pour pont roulant représenté par la Fig. 263. Ce treuil est du sys-

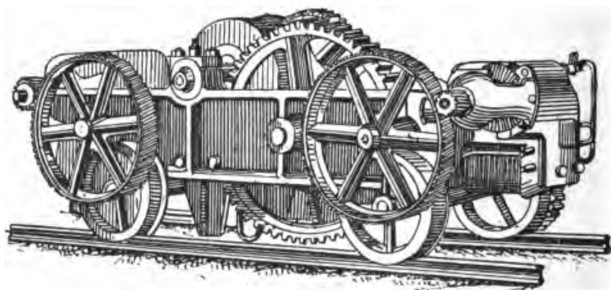


Fig. 263. — Treuil électrique de la maison Sautter-Harlé.

tème Mégy. Le bâti du treuil sert de culasse au moteur dont l'axe de la bobine se prolonge par une vis sans fin qui actionne un engrenage. La maison a construit ainsi des treuils de force portante de 1000, 5000 et 6000 kg.

La maison Breguet a dû construire 13 modèles différents de treuils dont les puissances des moteurs varient de 150 à 4500 watts, principalement pour les applications à bord des navires. Dans tous ces appareils, réduits à l'encombrement le plus faible, le mouvement de l'induit

du moteur est transmis à l'arbre du tambour soit par des engrenages, soit par des vis tangentes et roues hélicoïdales, soit par des galets et roues de friction. La figure ci-jointe

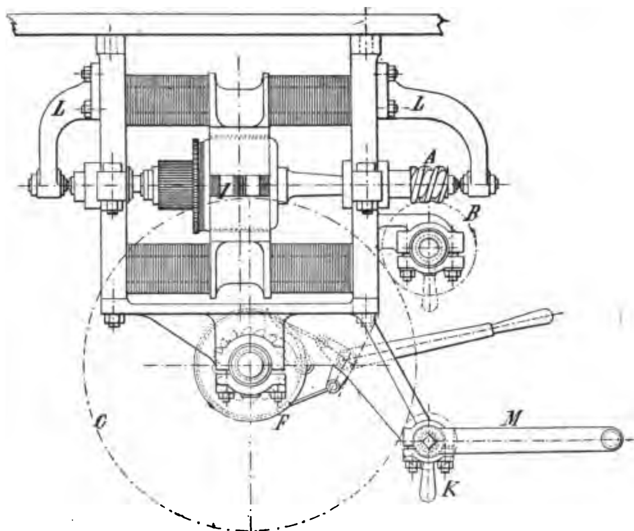


Fig. 264. — Treuil électrique à vis tangente de la maison Breguet.

264 montre les dispositions d'un treuil électrique à vis tangente, pouvant soulever 260 kg à la vitesse de 30 centimètres par seconde. Le moteur qui l'actionne consomme 75 volts par 30 ampères, soit 2250 watts.

M. Neu, à Lille, fabrique divers treuils, dont quelques-uns à renversement de marche. Ces treuils consistent en un moteur électrique qui attaque par vis sans fin un engrenage calé sur l'arbre portant le tambour du treuil. La puissance de ces treuils varie de 2 à 20 chevaux. Nous avons donné plus haut quelques renseignements sur ces

dispositions, quand nous avons parlé des ascenseurs pour personnes.

La General Electric C° de New-York emploie également divers modèles de treuils électriques dont les puissances

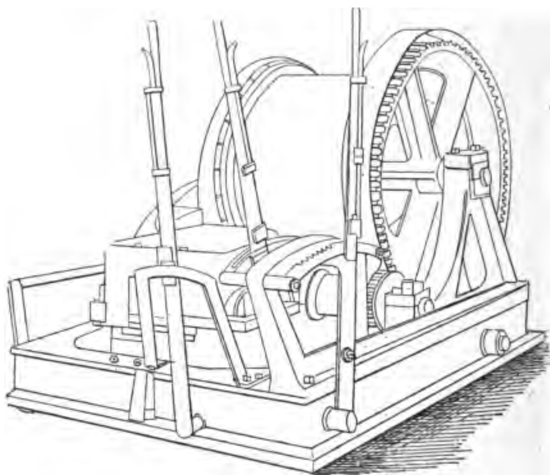


Fig. 265. — Dispositions générales des treuils électriques de la *General Electric C°*.

sont de 4, 10, 15, 30, 50 et 90 chevaux. La Fig. 265 représente le type général de ces appareils.

La compagnie Sprague en Amérique a aussi plusieurs outils semblables, avec adaptation du moteur qu'elle construit. Mentionnons encore le treuil électrique Bolton, remarquable pour l'accouplement à friction intercalé entre l'arbre de la dynamo et l'arbre de la vis sans fin qui commande le treuil. Cette disposition permet au treuil de supporter l'effort auquel il est soumis, tout en restant enrayé.

β. Grues.

Les grues sont aussi des appareils très utiles, et qui reçoivent un grand nombre d'applications. La transmission électrique est très favorable et permet de réaliser de

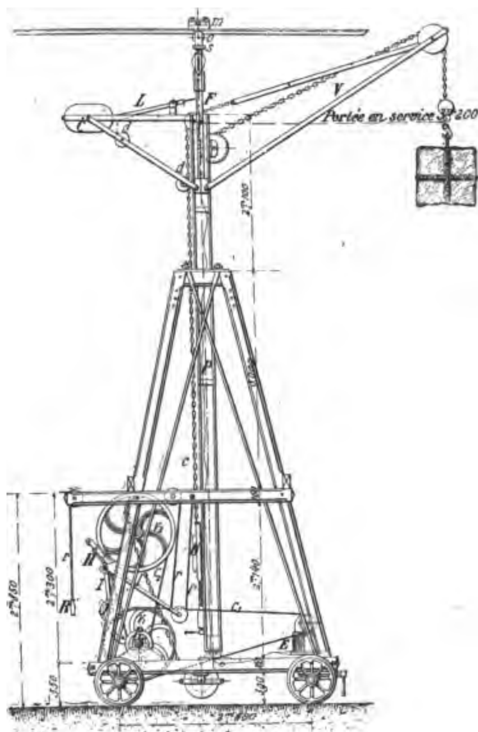


Fig. 266. — Grue électrique de l'entrepôt des laines de Roubaix, construite en 1886 par M. Guyenet.

grandes économies sur les systèmes à vapeur, hydraulique, à air comprimé.

Une des premières grues électriques qui aient été in-

stallées en France est celle de l'entrepôt des laines de Roubaix, qui fut construite en 1886 par M. Guyenet. Ce constructeur adapta à la grue un moteur électrique de 2,944 kw tournant à 900 tours par minute. Cette grue pouvait soulever une charge de 500 kg à 8 m de hauteur en 25 secondes (Fig. 266).

Dans les années suivantes, les applications s'étendirent et se développèrent, et, en 1889, M. Guyenet pouvait présenter à l'Exposition divers modèles de grues qu'il avait construites, et, entre autres, un modèle roulant pour le

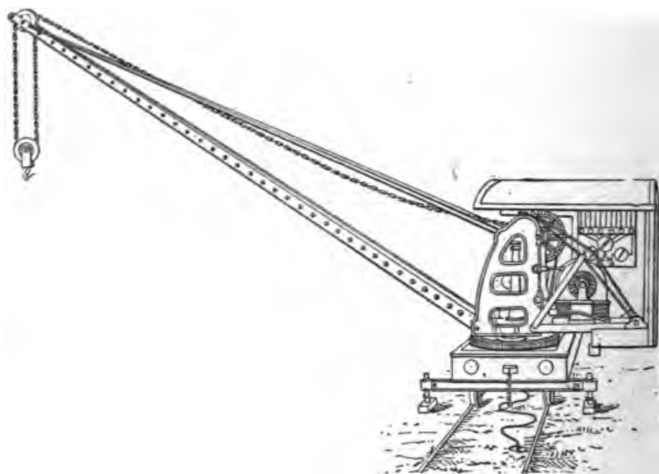


Fig. 267. — Grue électrique construite par la Société Gramme.

service des quais. Cette grue soulevait un poids de 100 kg à la vitesse de 0,70 m par seconde et était actionnée par un moteur électrique 1,472 kw.

La Fig. 267 nous montre la disposition adoptée actuellement par la maison Gramme pour les grues qu'elle

construit. Un moteur électrique actionne un treuil pour soulever les fardeaux, et sert également pour faire tourner le support autour de son axe. Une prise de courant en terre amène l'énergie électrique.

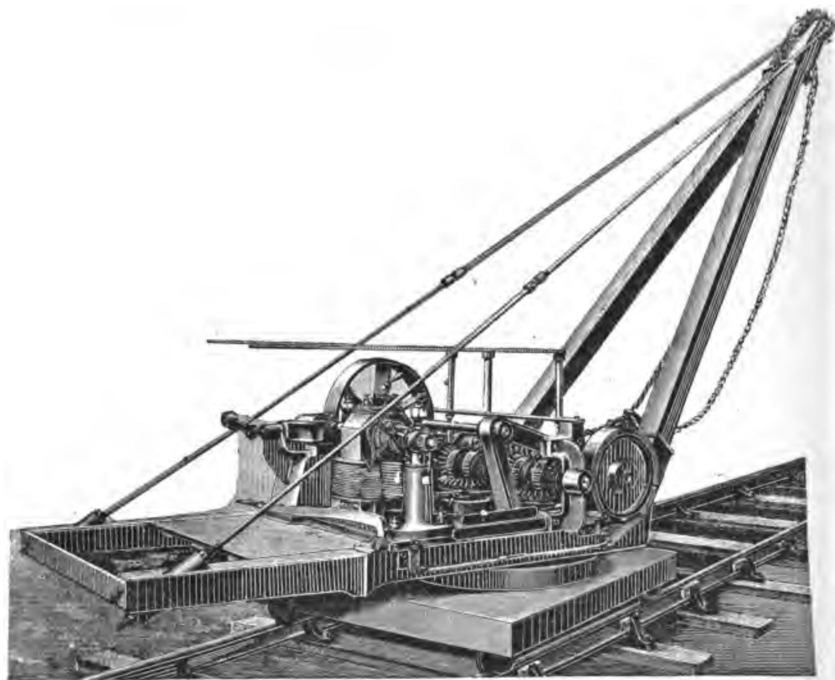


Fig. 268. — Grue électrique de la maison Crompton et Cie

La Fig. 268 représente la disposition des grues de la maison Crompton et Cie.

La Fig. 269 nous montre la photographie d'une grue roulante et pivotante électrique de 8 tonnes, avec trolley, qui a été construite par les ateliers d'Oerlikon et livrée aux aciéries de Saint-Chamond. Ces ateliers construi-

sent des modèles pouvant soulever de 2 à 20 tonnes à une hauteur maxima de 4 à 1 mètres par minute avec

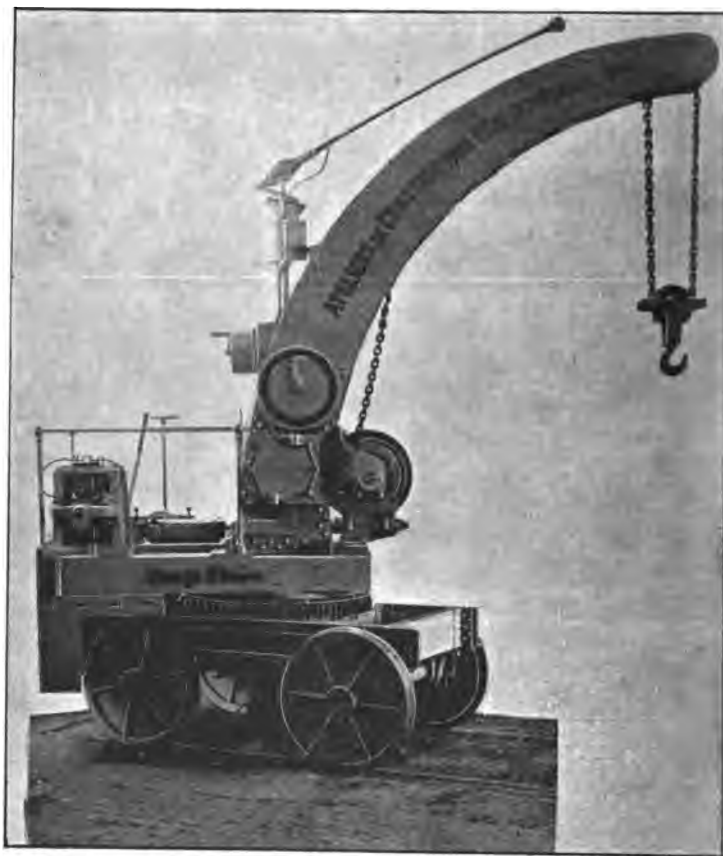


Fig. 269. — Grue pivotante et roulante de 8 tonnes, construite par les ateliers d'Oerlikon.

une vitesse du bras tournant de 9 à 4 mètres par minute.

Le chariot peut se déplacer avec une vitesse de 28 à 15 mètres par minute.

Nous ne saurions entrer ici dans tous les détails de construction des diverses grues électriques actuellement en usage. Mais nous signalerons au moins quelques installations possédant des appareils de ce genre.

En 1891, l'*Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft* de Berlin a installé sur le port de Hambourg une grue d'une force portante de 2500 kg et d'un bras de 10,75 m de rayon (Fig. 270). Cette grue soulève la charge maxima

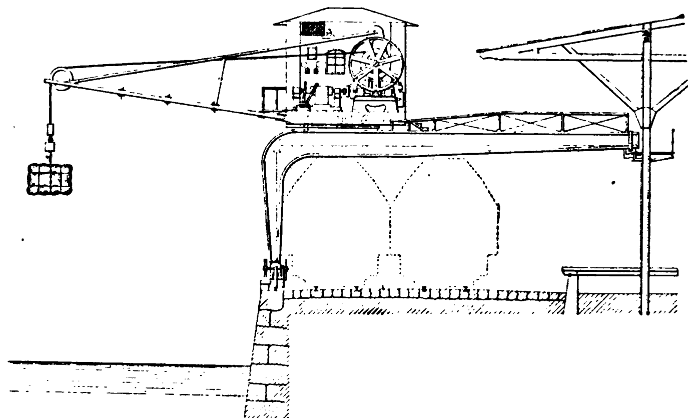


Fig. 270. — Grue électrique installée sur le quai du port de Hambourg.

à la vitesse de 1 m par seconde et effectue sa rotation à la vitesse de 2 m par seconde. Le premier mouvement est commandé par un moteur électrique de 29,44 kw et la rotation par un moteur de 5,888 kw. Cet appareil, tout en réalisant de grandes économies sur les appareils précédemment employés, a permis d'assurer un service plus régulier et beaucoup plus rapide. Dans le courant

de l'année 1893, une grue semblable a été installée sur le quai de Southampton en Angleterre.

Pour donner une idée des applications que permettent les grues électriques, nous ne pouvons mieux faire que mentionner les appareils de levage électriques, construits par la maison Hillairet et Huguet, de Paris, et qui ont été employés en 1892 dans les travaux du port de Bilbao.

Dans sa nouvelle fabrique à Nuremberg, *L'Elektricitæts Aktiengesellschaft* a installé une grue commandée par un moteur de 2760 watts tournant à la vitesse angulaire de 1080 tours par minute et pouvant soulever un poids de 7500 kg. La même Société a établi aussi une grue actionnée par un moteur de 7,7 kw à 950 tours par minute, dans des établissements d'huile de Heerdt, pour le déchargement des bateaux.

Dans ses nouveaux ateliers de Charlottenburg, la Société Siemens et Halske a placé aussi 1 grue d'une force portante de 5000 kg, une de 20000 kg, et 6 petites dont 4 d'une force portante de 1250 kg, et 2 de 1000 kg. Les deux premières grues sont pourvues de 3 moteurs électriques, l'un pour soulever ou abaisser les fardeaux, l'autre pour la rotation de la grue sur elle-même, et la troisième pour le déplacement longitudinal de celle-ci.

Dernièrement, au mois de mai 1894, la C[ie] de l'Est a installé au chantier aux bois de Romilly une grande grue électrique d'une force portante de 8000 kg.

Des grues importantes doivent prochainement être installées sur le quai Colbert au Havre et desservies par la Société *L'Energie Electrique* qui effectue la distribution dans la ville.

A côté des grues puissantes dont nous avons parlé, il est intéressant de signaler des appareils pour petits ate-

liers. La Fig. 271 nous montre une grue d'une force portante de 800 kg, pouvant soulever cette charge à la vitesse

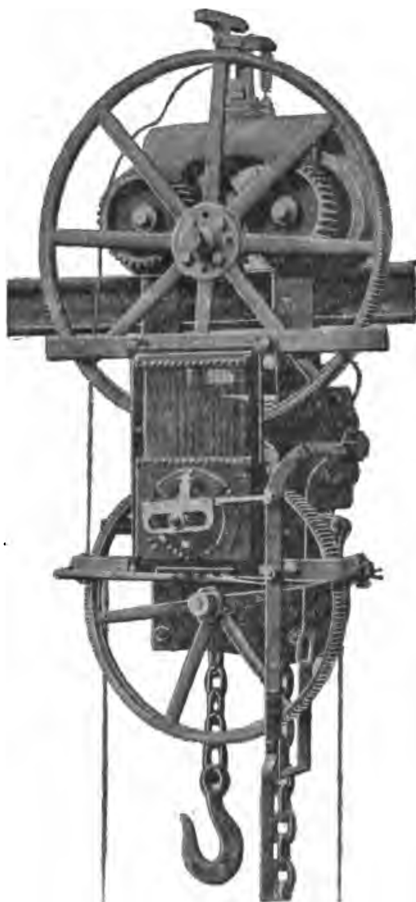


Fig. 271 — Grue électrique à chariot de l'E. Aktiengesellschaft.

de 0,87 m par minute et se déplacer elle-même sur un rail, à l'aide d'un trolley, à la vitesse de 0,70 m par

seconde; cette grue est commandée par un moteur de 530 watts.

Dernièrement, dans la construction d'un pont sur le canal du Nord, à Levensau, près de Kiel, on a employé deux grues roulantes électriques à deux treuils chacune et deux grues pivotantes. L'installation comportait deux machines à vapeur compound de 25 chevaux, actionnant chacune 1 dynamo compound Ganz à 4 pôles de 220 volts, à 400 tours par minute. Les moteurs commandant les grues étaient également à 4 pôles et tournaient à 850 tours par minute. La vitesse d'élévation des grues était réglée de façon à soulever des charges de 10 tonnes à 22 mètres en 14 minutes, soit à une vitesse de 1,60 m par minute. Le rendement industriel de cette installation a atteint 84 pour 100.

γ. Cabestans.

Les cabestans ne sont au fond que des treuils spéciaux, qui diffèrent peu des appareils que nous avons étudiés au commencement de ce paragraphe. Nous présenterons cependant quelques dispositions particulières de divers modèles.

La Cie des chemins de fer du Nord à Paris a été une des premières à utiliser les cabestans électriques. Pendant deux ans elle a expérimenté à Paris un modèle qui servait à tourner des machines des trains tramways. A la suite de ces essais, la maison Hillairet a construit un modèle représenté par la Fig. 272. Il se compose d'une poupée montée sur l'axe vertical d'une roue dentée avec laquelle engrènent des pignons; sur ces derniers sont montés les induits du moteur. Tout l'ensemble peut basculer autour de deux tourillons pour faciliter la visite

et l'entretien. Le moteur du cabestan est enfermé dans une cuve enfoncée dans le sol et la poupée s'élève seule au-dessus. Ces appareils peuvent exercer un effort de

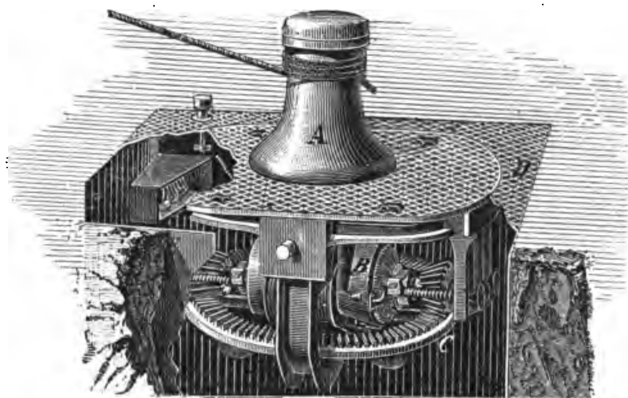


Fig. 272. — Cabestan électrique de la Cie des chemins de fer du Nord.

500 kg à une vitesse périphérique de la poupée de 0,60 m par seconde. La vitesse angulaire de la poupée est de 70 tours par minute ; mais, pour la manœuvre des locomotives, il faut quelquefois descendre à 12 tours par minute ; cette réduction est obtenue par un couplage en tension ou en quantité des inducteurs. On opère la mise en marche du cabestan en fermant le circuit électrique, qui alimente le moteur, à l'aide d'une pédale à fleur du sol sur laquelle on appuie. On peut apercevoir cette pédale à gauche dans notre figure. Le moteur est à huit pôles et l'arbre même commande directement la poupée du cabestan. L'anneau est aplati et a un grand diamètre. Chaque appareil est enfermé dans une cuve hémisphérique dont le couvercle sert de culasse aux inducteurs et

peut pivoter autour d'un axe horizontal. L'accès de toutes les pièces est facile pour permettre le nettoyage.

La Société *L'Eclairage Electrique* construit des cabestans dont les figures ci-dessous donnent les dispositions générales. L'appareil dont il est question peut entraîner un poids de 2000 kg à une vitesse de 20 centimètres par

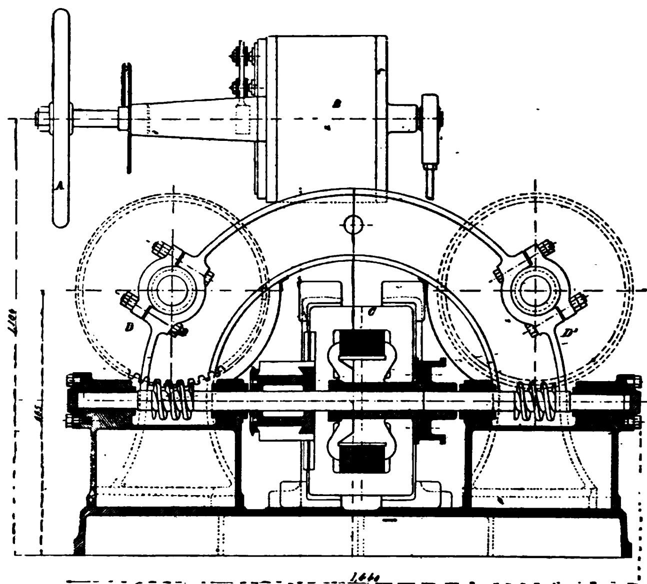


Fig. 273. — Cabestan électrique de la Société *L'Éclairage électrique*. Vue longitudinale.

seconde, et est commandé à l'aide de vis tangentes par un moteur de 75 volts et 125 ampères, soit 9,375 kw, à la vitesse angulaire de 600 tours par minute (Fig. 273 et 274).

L'Allgemeine E. Gesellschaft de Berlin emploie la disposition représentée par la Fig. 275. Un moteur électri-

que transmet à l'aide d'un accouplement le mouvement à deux tambours à corde montés sur le même axe. Des

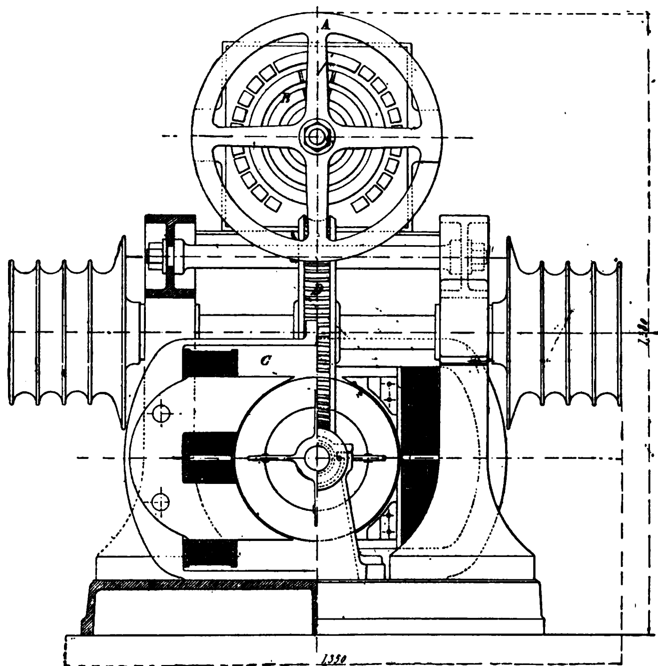


Fig. 274. — Cabestan électrique de la Société *L'Eclairage électrique*. Vue latérale.

appareils spéciaux sont établis pour couper automatiquement et rapidement le circuit électrique.

L' E. Aktiengesellschaft avait également exposé à Santiago et à Gelsenkirchen divers modèles de cabestans de puissances variables.

La maison Humpidge et Snoxell de Dudbrige, en Angleterre, a construit des cabestans électriques qui sont en service depuis 1891 pour faire mouvoir des trucs à

charbon. Dans une caisse en fer imperméable se trouve un moteur électrique dont l'arbre de l'armature commande directement le pivot du cabestan. Le moteur électrique

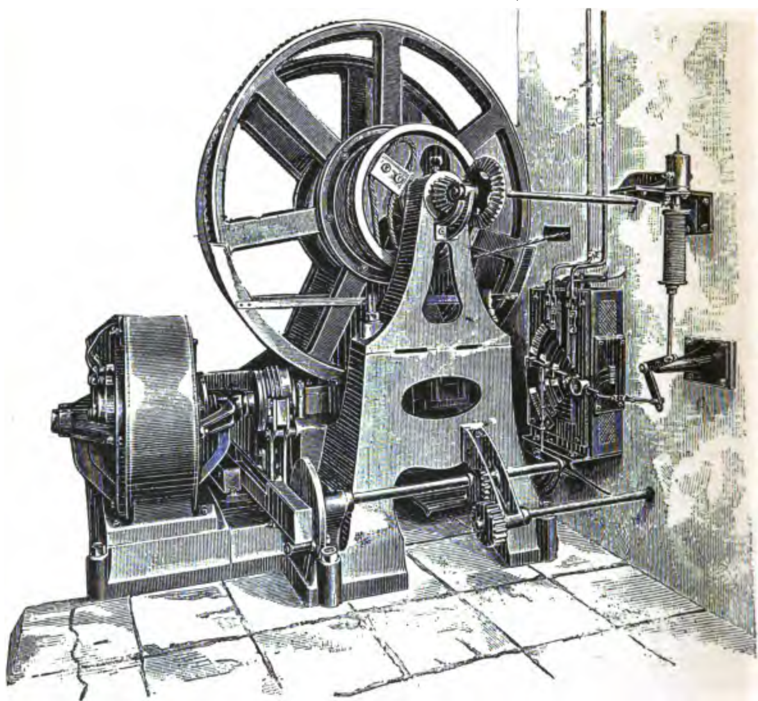


Fig. 275.— Cabestan électrique de l'*Allgemeine Electricitæts Gesellschaft*. Vue d'ensemble.

est logé entièrement dans la caisse et recouvert par une plaque de fer boulonnée à la partie supérieure; le tout est placé en terre et affleure le sol. Pour visiter le moteur, il est facile d'enlever cette plaque et de faire les

nettoyages ou réparations nécessaires. Les moteurs électriques ont été fabriqués par la maison Crompton et Cie, de Chelmsford. Ils sont compound et prennent, en marche normale, une intensité de 45 ampères sous une différence de potentiel de 110 volts. Mais cette intensité peut être de beaucoup dépassée sans inconvénient. Au régime que nous mentionnons ci-dessus, les cabestans électriques peuvent entraîner chacun deux wagons chargés de 10 tonnes avec une vitesse moyenne de 4 kilomètres par heure. Une disposition spéciale a été adoptée pour fermer graduellement le circuit, et mettre peu à peu le moteur en marche en évitant un départ trop brusque et trop rapide au démarrage. A droite se trouve un cylindre vertical qui sort un peu au-dessus de terre; en appuyant sur ce cylindre avec le pied on manœuvre l'interrupteur du circuit. Depuis quelque temps, la maison Humpidge et Snoxell a adopté pour ses cabestans une nouvelle disposition que nous représentons dans la Figure 276. Le moteur électrique est du même genre et de la même puissance que celui dont nous parlons plus haut; il est également renfermé dans une caisse en fer, mais de dimensions plus restreintes. La commande du cabestan par le moteur électrique se fait par une trans-

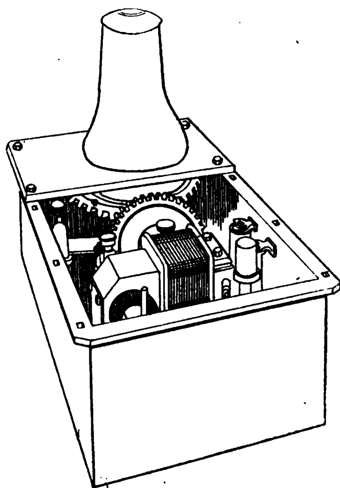


Fig. 276. — Cabestan électrique de la maison Humpidge et Snoxell.

mission par engrenages dont on peut voir le détail sur la figure.

MM. E. Scott et Mountain, constructeurs à Newcastle-on-Tyne, fabriquent le cabestan représenté par la Fig. 277. Dans une cage en fer, un moteur électrique actionne

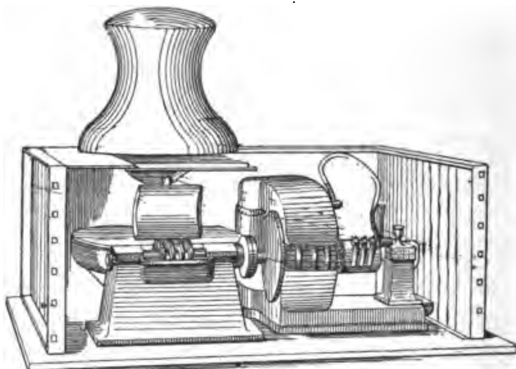


Fig. 277. — Vue d'ensemble du cabestan électriqne de la maison Scott et Mountain.

une vis tangente qui commande directement la poupée du cabestan.

Nous mentionnerons enfin les cabestans électriques qui doivent être installés prochainement pour la manœuvre du pont du Dock au Havre; les moteurs Brown seront branchés sur la distribution par alternateurs Ferranti et sur une différence de potentiel de 150 volts.

G. **Pompes électriques.**

Les pompes actionnées électriquement peuvent rendre de grands services non seulement pour élever l'eau, mais encore dans diverses applications pour élever les liquides, comprimer de l'air, etc. Dans certains cas, on peut même avoir avantage à pomper de l'eau d'un puits dans le voisinage, plutôt que de consommer l'eau de la distribution des villes. Nous pourrions aussi citer telle usine dans Paris qui utilise des moteurs électriques pour comprimer de l'air; autrefois elle était abonnée à la distribution d'air comprimé de la Cie parisienne, elle trouve une grande économie au nouvel état de choses.

Nous ne voulons pas insister sur les applications qui pourraient être faites avec les pompes électriques, mais seulement montrer celles qui ont déjà été réalisées. Nous commencerons par décrire sommairement quelques-unes des pompes à eau actuellement utilisées et que nous avons réunies dans un tableau. La Fig. 278 représente une pompe centrifuge Dumont actionnée directement par un moteur électrique Gramme; dans la Fig. 279 on voit la même pompe commandée par un moteur Sautter-Harlé. La Fig. 280 montre quatre pompes Dumont conjuguées actionnées par un seul moteur pour élever l'eau à 48 m de hauteur; cette pompe est utilisée dans les mines de l'Altaï. Dans la Fig. 281 se trouve une pompe commandée par un moteur Hillairet; dans la Fig. 282 est une pompe triple commandée à l'aide d'engrenages par un moteur Crompton consommant 450 volts par dix ampères, soit 4,5 kw, et tournant à la vitesse angulaire de 1200 tours par minute. La pompe débite dans ces conditions 180 litres

d'eau par minute. La Fig. 283 est une pompe Otis actionnée à l'aide de courroies par un moteur Crocker-Wheeler. La Fig. 284 montre une pompe centrifuge actionnée par un moteur E. Scott et Mountain, dont toutes les parties sont soigneusement renfermées. La Fig. 285 est

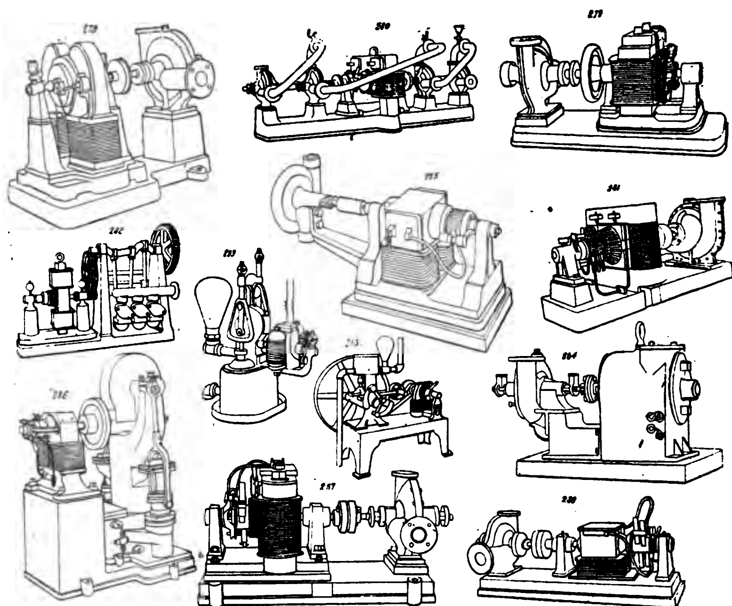


Fig. 278 à 289. — Pompes actionnées par des moteurs électriques. Modèles divers.

la pompe construite par la United Electrical Engineering Company; la pompe, presque en porte à faux, est montée directement sur l'arbre du moteur électrique. L'Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft construit une série de pompes centrifuges actionnées directement par des moteurs électriques, pour des puissances variables; la

Fig. 286 représente un autre modèle également fabriqué par la même Société, avec transmission intermédiaire. La Société *L'Eclairage Electrique* a adapté plusieurs de ses moteurs à des pompes centrifuges Dumont; la Fig. 287 représente une pompe actionnée par un moteur Manchester de 2600 watts à 250 volts et à 1000 tours par minute. La pompe élève 1400 litres par minute à une hauteur de 5 mètres. La Fig. 288 représente un autre modèle avec moteur Rechniewski de 1200 watts à 70 volts à 1000 tours par minute et d'un débit, pour la pompe, de 600 litres d'eau par minute à une hauteur de 4 mètres. Ce dernier modèle a été utilisé par la Ville de Paris pour vider un égout de la rue de Vouillé en contre-bas. La Fig. 289 montre une disposition curieuse de pompe adoptée par la Hall Electric Pump C°.

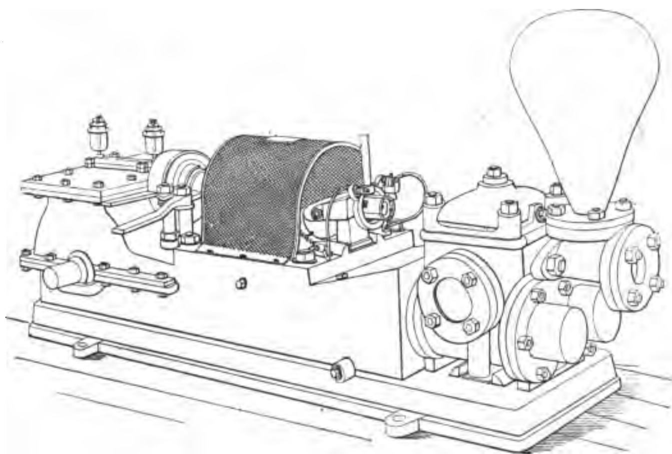


Fig. 290. — Pompe électrique de la maison Ganz et Cie de Budapest.

La maison E. Scott et Cie a également construit une pompe à triple effet, actionnée par un moteur électrique,

et élevant 850 litres d'eau par minute à une hauteur de 55 mètres.

La maison Ganz et Cie de Budapest fabrique la pompe représentée Fig. 290. Un moteur électrique à courants continus de 13,250 kw, à 300 volts à 600 tours par minute, met en marche une pompe qui fournit 1000 litres d'eau par minute à une hauteur de 50 mètres.

L'Elektricitæts Aktiengesellschaft a construit un grand nombre de pompes électriques. La Fig. 291 montre une pompe triple, utilisée dans l'industrie à Kladno; cette pompe est mise en mouvement par engrenage à l'aide d'un moteur de 3,6 kw, à 110 volts à 1070 tours par minute; la pompe fournit 150 litres d'eau par minute à une hauteur de 45 mètres.

Dans les forges d'Oberhausen, la même Société a installé deux pompes, commandées l'une par un moteur de 33 kw et l'autre par un moteur de 20 kw. Dans la fabrique de sucre de Mariensthul, une pompe fournissant 1500 litres d'eau par minute à une hauteur de 5 mètres est actionnée par un moteur électrique de 3,1 kw à 1070 tours par minute.

Pendant la construction du port de Cologne, la Société précitée a employé deux pompes pour épuiser l'eau des constructions, l'une actionnée par 1 moteur de 8,680 kw à 850 tours par minute et l'autre par 1 moteur de 12,8 kw à 780 tours par minute.

Dans la cour de l'abattoir, à Barmen, cette Société a aussi installé une pompe commandée par 1 moteur de 21 kw à 800 tours par minute.

La maison Carl et Cie, de Worms, a également construit une pompe adaptée à un moteur électrique, le tout

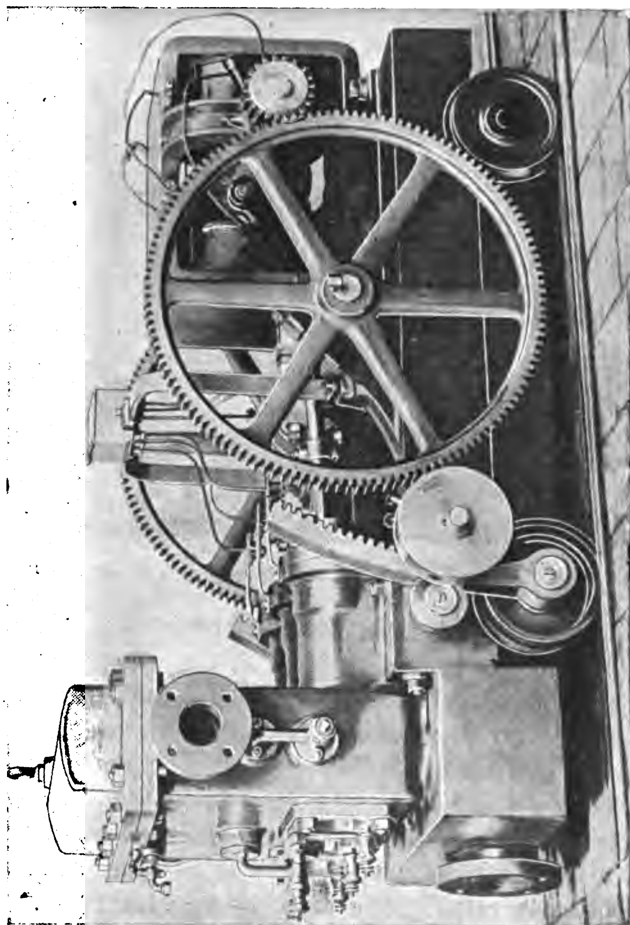


Fig. 291. — Modèle de pompe triple électrique.

monté sur un chariot transportable (Fig. 292). Plusieurs modèles de pompes ont été établis pour 250, 368 et 560

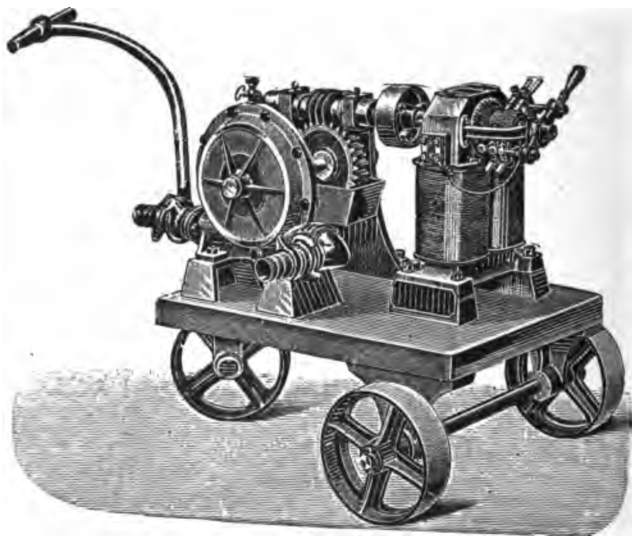


Fig. 292. — Pompe électrique transportable de la maison Carl et Cie, de Worms.

watts, pour élever 4200, 7500 et 12000 litres d'eau par heure à une hauteur de 10 mètres.

Signalons l'application qui est faite en Angleterre des pompes électriques pour les incendies. Une voiture comportant une pompe attelée à un moteur électrique arrive sur le lieu d'un sinistre. On ouvre aussitôt une boîte de distribution électrique, on branche des câbles, le moteur se met en marche, la pompe puise de l'eau dans une bâche et la refoule sous pression dans les tuyaux des pompiers. La bâche est remplie d'eau par les conduites de distribution d'eau, la pression n'étant pas suffisante pour atteindre les parties élevées des maisons.

Dernièrement, sur la nouvelle ligne de chemin de fer du Havre à Dieppe, une pompe électrique a permis d'épuiser facilement l'eau se trouvant dans des terrains vaseux et où tout sondage était impossible. L'énergie électrique a été fournie à distance par la station centrale d'électricité de Fécamp.

Les pompes électriques offrent un grand nombre d'avantages et peuvent être utilisées dans beaucoup de circonstances. Nous n'avons mentionné que quelques-unes des applications principales.

II. Ponts-roulants électriques.

On se souvient qu'une des plus intéressantes applications électro-mécaniques de l'Exposition universelle de 1889 fut les ponts-roulants électriques installés dans la galerie des machines. Ces ponts-roulants eurent pour but principal de servir au montage et au démontage des divers appareils exposés dans le Palais des machines; et ils rendirent de grands services qui furent très appréciés par les intéressés. Mais ils servirent aussi comme chemins de fer aériens pour transporter un grand nombre de visiteurs pendant l'Exposition. Ces appareils étaient au nombre de deux : l'un situé du côté de l'Ecole militaire, dû à MM. Mégy, Echeverria et Bazan, l'autre, situé du côté opposé, dû à MM. Bon et Lustrement. Deux stations centrales avec génératrices séparées fournissaient l'énergie électrique aux deux groupes. Le pont Mégy avait un poids total de 28 tonnes, était actionné par un moteur Miot de 15,4 kw (70 ampères, 220 volts) à 850 tours par minute, et pouvait transporter environ 120 personnes à la vitesse de 0,65 m par seconde. Le pont de MM. Bon et Lustrement avait une portée de 18 mètres,

pesait 35 tonnes, et pouvait déplacer une charge normale de 10 tonnes à la vitesse normale de 0,50 m par seconde; il était actionné par un moteur Gramme de 12 kw (48 ampères, 250 volts), à 500 tours par minute. Ces ponts-roulants, dont le fonctionnement donna toute satisfaction, eurent à cette époque un vif succès; et, bien que les ponts-roulants électriques fussent connus depuis longtemps déjà, ce ne fut qu'à partir de ce moment qu'on songea à les utiliser réellement dans l'industrie.

En 1891, un pont-roulant électrique fut installé dans les ateliers d'artillerie du Creusot. Il pouvait soulever une charge de 40 tonnes à la vitesse de 4 centimètres par seconde et se déplacer lui-même à la vitesse de 0,45 m par seconde. Le mouvement était communiqué au pont, à l'aide d'une transmission par courroie, par un moteur électrique Ganz à courants continus de 45 kilowatts à 220 volts.

Dans les premiers mois de 1893, MM. Schneider et Cie ont installé un pont-roulant électrique de 150 tonnes pour leurs aciéries du Creusot. Ce pont roulant de 22,50 m de portée est représenté dans la Fig. 293. La commande de ce pont était obtenue par deux dynamos Ganz de 45 kw à 420 tours par minute, montées sur chariot tendeur et actionnant par courroies les deux extrémités de l'arbre des embrayages. Pour une charge inférieure à 80 tonnes, une seule dynamo pouvait suffire. Trois vitesses pour le mouvement de levage de la charge (pour 150 tonnes 0,930 m, pour 50 tonnes 2,510 m et pour 30 tonnes 3,610 m par minute) étaient obtenues au moyen d'embrayages à friction montés sur l'arbre actionné par les dynamos. C'est à l'aide d'artifices semblables que l'on obtenait le mouvement de descente de la charge, le mou-

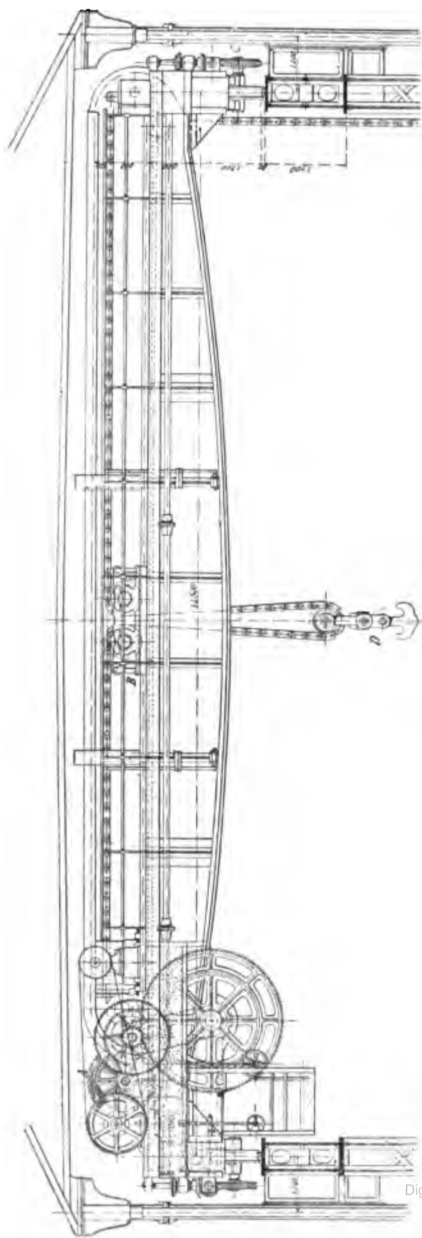


Fig. 293. — Pont-roulant électrique de 22,50m de portée installé dans les aciéries du Creusot.

vement de translation du pont et le déplacement du chariot. Le courant est amené aux réceptrices par des frotteurs en charbon sur câbles en cuivre nu. La vitesse angulaire de l'arbre de commande des mouvements est de 220 tours par minute, la course totale du chariot de 15,6 m, la course du crochet de charge de 13,5 m. La vitesse de descente des charges avec le mouvement d'embrayage est de 3,150 m par minute, et de 1 à 4 m avec le frein. La vitesse de translation des charges est de 10,750 m par minute pour le pont, et de 8 m par minute pour le chariot. Tous les appareils de manœuvre et de contrôle sont réunis dans la cabine du mécanicien, notamment un rhéostat à liquide pour le démarrage. Une disposition particulière (ouverture de l'interrupteur général) permet d'éviter la chute de la chaîne de suspension de la charge, en cas de fausse manœuvre ou d'arrêt à la descente.

La maison J. Julien et Cie, de Paris, qui s'occupe tout particulièrement des appareils de levage, a fait dans l'année 1894 plusieurs installations de ponts-roulants électriques qui méritent d'être signalées.

Un pont-roulant de 500 kg a été établi à Paris chez M. Berton, dans son usine pour la récupération de l'étain des rognures de fer blanc. Les Fig. 294 et 295 nous donnent une élévation, une vue en plan du pont-roulant, ainsi que la coupe d'un treuil et la coupe transversale. Le pont est formé de deux poutres en fer entretoisées par les semelles de deux treuils A qu'elles portent et la plaque d'assise d'une dynamo D; aux extrémités des poutres sont boulonnés les longerons d'un châssis portant deux galets de roulement. Chaque treuil est formé d'une grande roue à denture hélicoïdale dont le pignon

de vis sans fin est calé sur un arbre relié à l'arbre de la dynamo. Cette roue tourne dans un bain d'huile placé entre les poutres principales, et sur son axe est calée

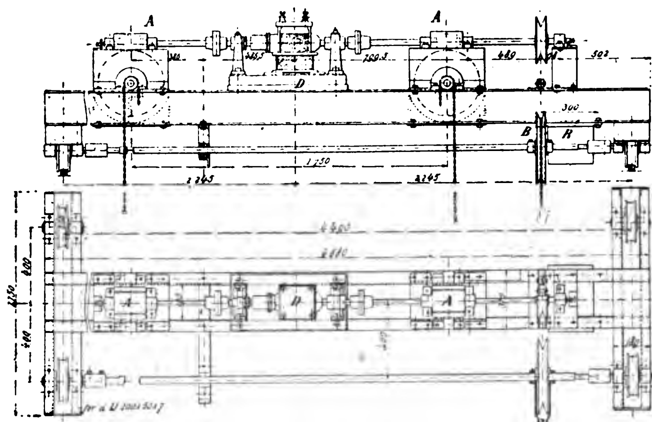


Fig. 294 et 295. — Pont roulant électrique de la maison J. Julien et Cie. Vue en élévation et en plan.

une roue à empreintes autour de laquelle passe la chaîne de levage. Le moteur est une dynamo Rechniewski de 1,65 kw (110 volts, 15 ampères), fonctionnant à la vitesse angulaire de 1800 tours par minute. Les manœuvres de mise en marche et d'arrêt se font à l'aide d'un rhéostat R dont on peut faire varier les résistances au moyen d'une corde. La vitesse de levage de la charge est de 0,10 m par seconde, ainsi que la vitesse de descente. Le déplacement du pont est obtenu à l'aide d'une chaîne qui passe autour d'une poulie à empreintes, et celle-ci est fixée sur l'arbre des galets à l'avant du pont-roulant.

La même Compagnie a installé deux ponts-roulants électriques de trois tonnes dans la sous-station de la rue

Saint-Roch de la Compagnie parisienne de l'air com-

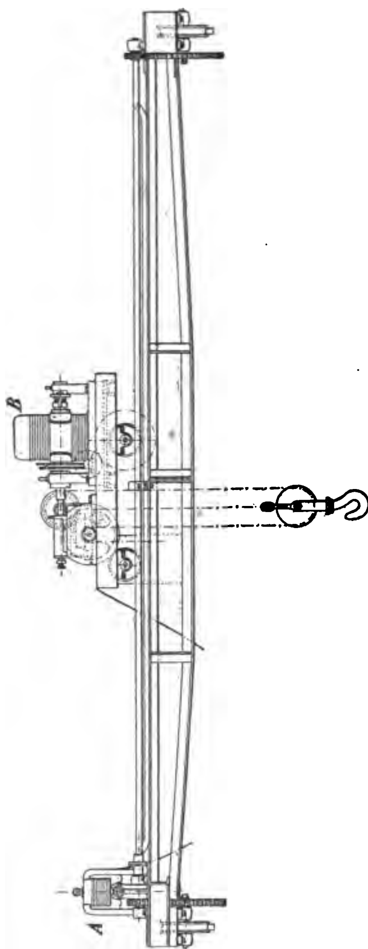


Fig. 296. — Pont-roulant électrique de la maison Julien installé dans la sous-station Saint-Roch de la Cie parisienne de l'air comprimé.

primé. Chacun de ces ponts est commandé par trois moteurs électriques, pour le déplacement du pont, le dépla-

cement du chariot élévateur et le soulèvement de la charge. La Fig. 296 donne la vue d'ensemble de ce pont-roulant. Le déplacement du pont est obtenu à l'aide d'un moteur A, dont l'arbre de l'induit porte une vis sans fin en acier, au moyen d'un emmanchement conique claveté. Cette vis commande une roue hélicoïdale en bronze placée dans une boîte remplie d'huile. La roue hélicoïdale est manchonnée sur l'arbre, et le mouvement est transmis aux galets par deux engrenages placés aux extrémités du pont.

Au centre se trouve un treuil qui peut se déplacer également avec un moteur semblable au précédent. Le mouvement de levage est communiqué au treuil par un moteur B. Le sens du déplacement peut être changé à volonté. Le courant est transmis au pont par un câble souple à plusieurs conducteurs. Les points d'attache sont au mur latéral de l'usine et au pont lui-même. Ce câble est continuellement tendu par un tendeur spécial disposé près du point fixe. On a ainsi supprimé les câbles nus avec frotteurs.

Comme application originale de ces ponts-roulants, nous signalerons le plafond mobile de l'ancienne salle de concert *La Cigale,* à Paris. Le plafond est formé de deux parties portées chacune sur un pont roulant commandé par un moteur de 736 watts à l'aide d'engrenages et d'une chaîne galle sur l'arbre des galets du pont. Le plafond peut facilement être ouvert ou fermé. L'énergie électrique pour la mise en marche de ces appareils est fournie par le secteur Edison.

M. Marinoni a également utilisé l'énergie électrique pour un pont-roulant transbordeur de 20 mètres de longueur, de 7 m de hauteur et d'une course de 90 mètres

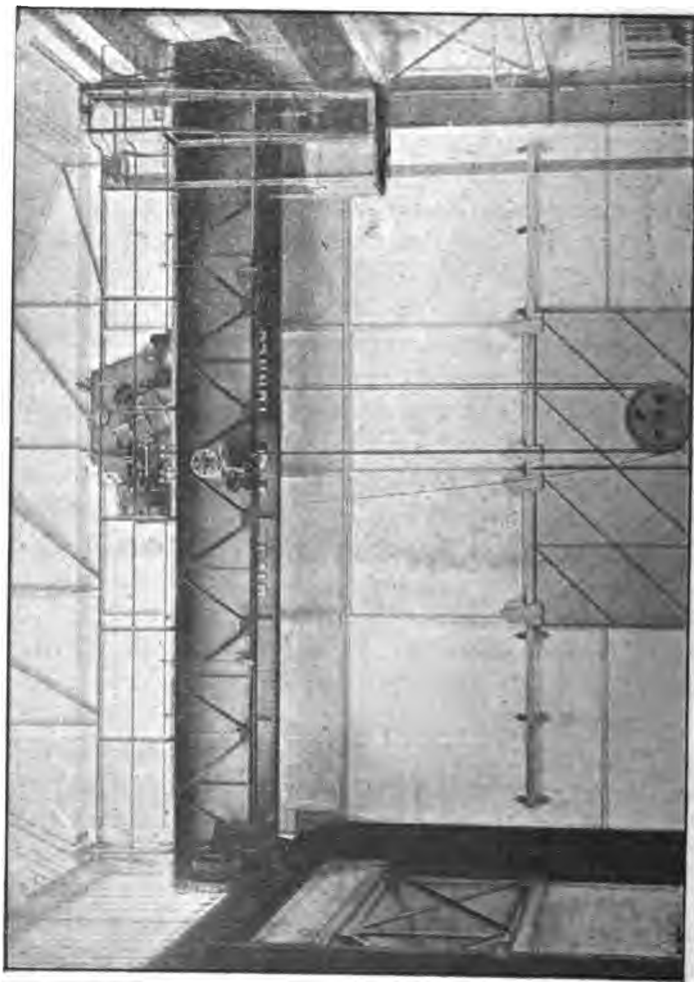


Fig. 296 *bis*. — Vue d'ensemble d'un pont-roulant électrique de 15 tonnes installé dans les ateliers Weyher et Richemond, à Pantin.

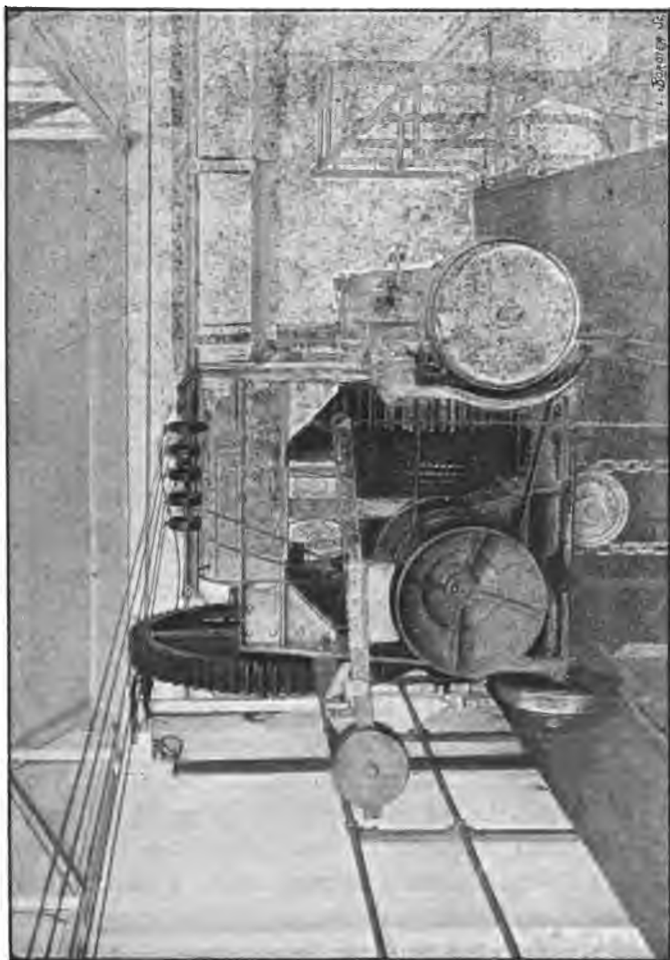


Fig. 296 *ter*. — Vue du treuil électrique du pont-roulant des ateliers Weyher et Richemond.

dans ses ateliers de Paris. Un moteur électrique sert au déplacement du pont, et un treuil électrique, d'une force portante de 6000 kg, sert à élever les charges.

La maison Weyher et Richemond a branché sur la distribution d'énergie électrique à courants diphasés pour force motrice, dont nous avons parlé précédemment, un pont-roulant dont la Fig. 296 *bis* représente une vue d'ensemble. Ce pont-roulant, d'une force portante de 15 tonnes, est pourvu de 3 moteurs à courants diphasés, 2 de 1,1 kw pour les déplacements du treuil sur le pont et du pont lui-même et 1 de 6 kw pour l'appareil de levage. La Figure 296 *ter* montre une vue détaillée du treuil électrique monté sur le pont roulant.

M. H. Bollinckx a fait également installer un pont-roulant dans la fonderie de ses ateliers de construction. Ce pont-roulant (Fig. 297) peut se déplacer sur une longueur de 20 mètres, et le chariot sur une largeur transversale de 9 m. Le poids soulevé peut aller jusqu'à 15 000 kg. Les trois moteurs employés pour ces divers mouvements sont des moteurs Henrion. Le mécanicien chargé de conduire ce pont a à sa portée tous les interrupteurs et manettes de rhéostats graduateurs.

La Compagnie de Fives-Lille avait exposé à Lyon en 1894 un pont roulant électrique de trois tonnes, dont tous les mouvements étaient commandés par un seul moteur électrique. Le déplacement du pont, le déplacement du treuil élévateur et le mouvement de levage de la charge étaient obtenus à l'aide d'embrayages coniques montés sur un arbre actionné par un engrenage à vis. Le moteur électrique avait une puissance de 7,360 kw à la vitesse angulaire de 1050 tours par minute. La vitesse de déplacement du pont pouvait atteindre 24 m par mi-

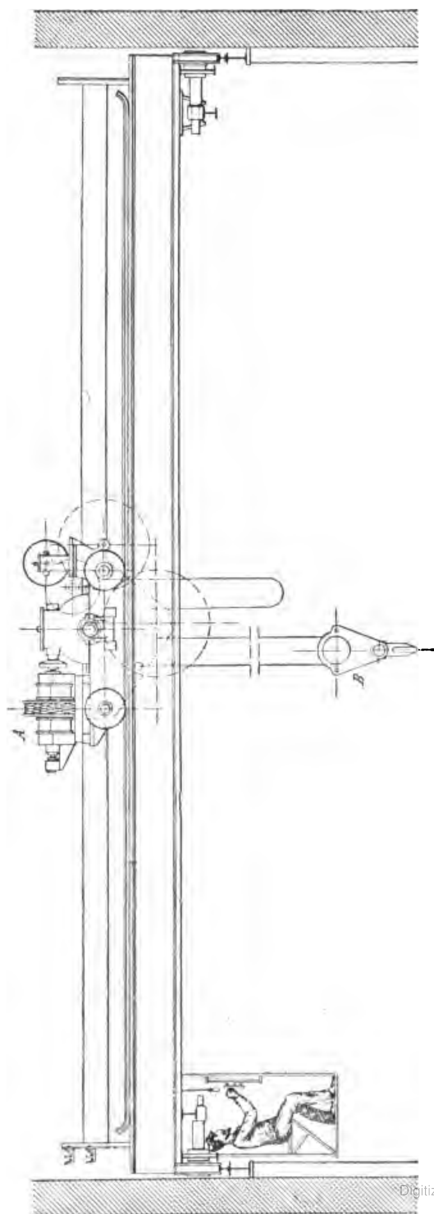


Fig. 297. — Coupe longitudinale du pont-roulant électrique de 15 tonnes installé dans les ateliers Bollinckx.

nute, la vitesse de déplacement du treuil 15 m par minute, et la vitesse d'élévation de la charge maxima (3000 kg environ) 3,80 m par minute.

Les ateliers d'Oerlikon construisent une série de ponts-roulants électriques fonctionnant avec moteurs électriques à courants continus et même à courants triphasés. La Fig. 298 représente la disposition générale d'un de ces appareils avec le pont-roulant, le chariot-treuil et les

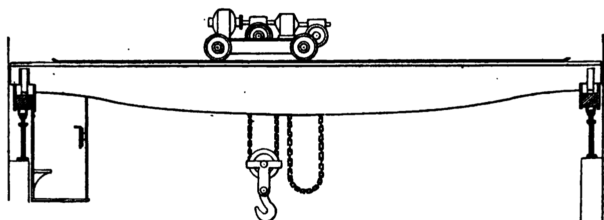


Fig. 298. — Disposition générale des ponts-roulants électriques construits par les ateliers d'Oerlikon.

dispositions accessoires. Les ponts roulants ont des forces portantes variables de 3 à 30 tonnes, avec des hauteurs de levage pour la charge maxima variables de 3,3 à 0,7 m par minute. La vitesse de déplacement du chariot varie de 10 à 8 mètres par minute et la vitesse de translation du pont chargé de 25 à 17 mètres par minute. La Fig. 299 donne la vue détaillée du chariot-treuil pour un pont de 15 tonnes. On remarquera le moteur qui sert au déplacement du chariot, avec l'arrivée de courant par un trolley sur le côté, ainsi que le moteur servant à l'élévation des charges.

L'*Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft* construit des ponts-roulants de 7,5, 10 et 30 tonnes avec des portées de 11,12 et 20 mètres, des hauteurs d'élévation de 8 et

13,5 m, des vitesses d'élévation à pleine charge de 3 et de 1,25 mètres par minute, des vitesses de déplacement du chariot de 12, 9 mètres par minute, et des vi-

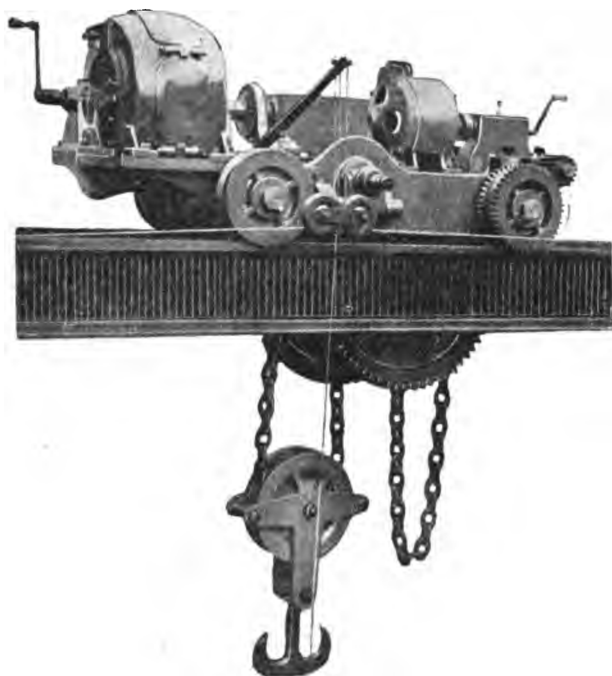


Fig. 299. — Vue détaillée du chariot-treuil du pont-roulant électrique de la Société des ateliers d'Oerlikon.

tesses de déplacement du pont de 12 et 15 mètres par minute.

Tous les mouvements sont obtenus par un seul moteur électrique avec diverses commandes par chaînes. La Fig. 299 *bis* montre un de ces ponts installés dans un atelier de la Société.

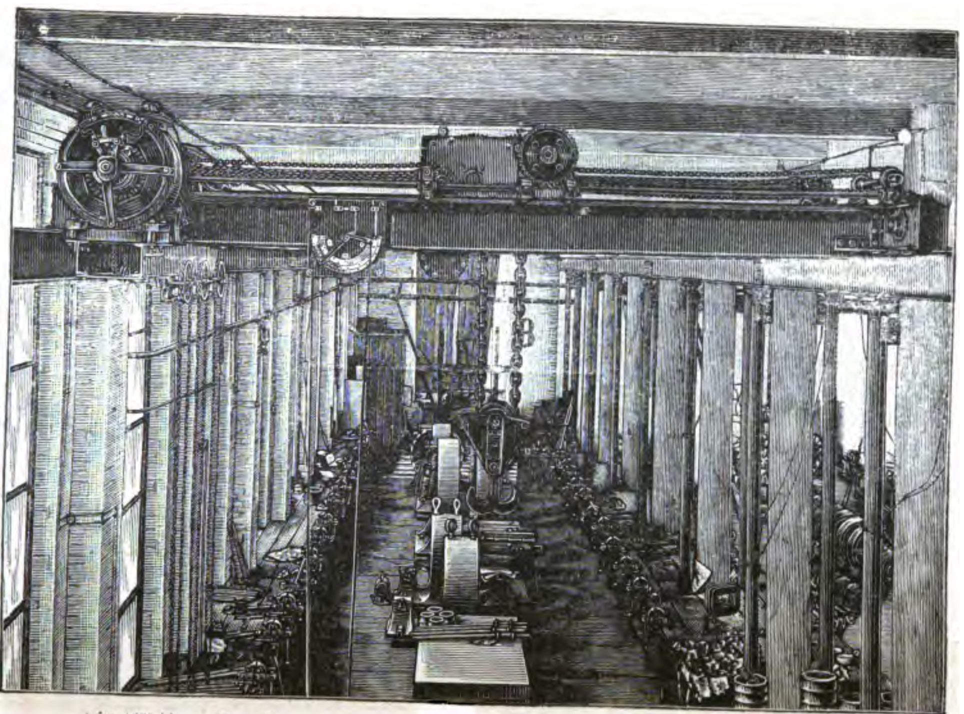


Fig. 299 bis. — Vue d'un pont-roulant électrique installé dans un atelier de l'A. E. G.

La maison Siemens et Halske a fait dans ses ateliers de Charlottenburg diverses installations intéressantes de ponts-roulants. Dans le grand atelier se trouvent deux ponts, l'un de 5000 kg et l'autre de 20 000 kg. Les trois mouvements de ces ponts : levage, déplacement du pont, déplacement du chariot, sont obtenus électriquement. Les mouvements des moteurs électriques sont transmis par vis sans fin et engrenages. Le pont de 5000 kg a une course totale de 9 mètres, un moteur de levage de 1,472 kw tournant à 1100 tours par minute, un moteur de 1,1 kw tournant à 1100 tours par minute pour son déplacement longitudinal et un moteur de 0,552 kw tournant à 1400 tours par minute pour le déplacement du chariot. Le pont de 20 tonnes a un moteur de 2,944 kw tournant à 800 tours par minute pour son déplacement longitudinal, un moteur de 1,472 kw tournant à 1200 tours par minute pour le déplacement du chariot, et un moteur de 5,888 kw tournant à 800 tours par minute pour le soulèvement de la charge. La charge est montée avec une vitesse de 14 à 24 mm par seconde, le pont se déplace avec une vitesse de 250 mm par seconde, et le chariot se meut latéralement avec une vitesse de 56 mm par seconde. L'énergie électrique est fournie à 110 volts et amenée par des conducteurs en cuivre nu sur lesquels glissent des fourchettes métalliques portées par les ponts. Des rhéostats sont installés pour les démarrages; chaque moteur a un inverseur agissant dans le circuit induit. Deux autres ponts électriques de 1000 kg sont également établis dans d'autres ateliers.

L'*Elektricitæts Aktiengesellschaft* a fait également plusieurs installations de ponts-roulants électriques, notamment dans la fabrique de machines d'Augsbourg où existe

un pont de 30 tonnes avec un moteur de 9,5 kw à 600 tours par minute pour le soulèvement de la charge, et elle a placé un pont mobile de 10 tonnes chez les frères Sulzer, à Ludwigshafen.

Dans les ateliers de Sécheron de la Cie *de L'Industrie*

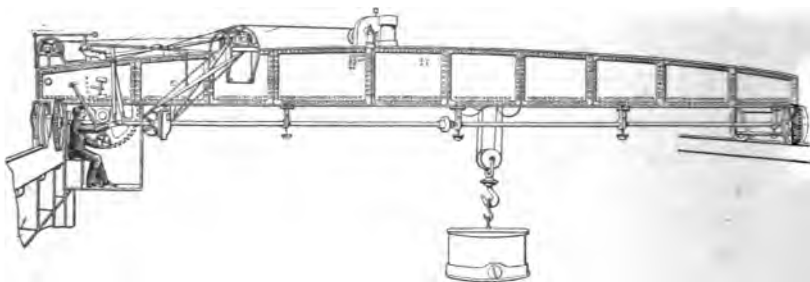


Fig. 300. — Pont-roulant électrique de MM. Thomas Broadbent and Sons, de Huddersfield.

électrique, dont nous avons parlé précédemment, il se trouve un pont-roulant électrique avec chariot-treuil

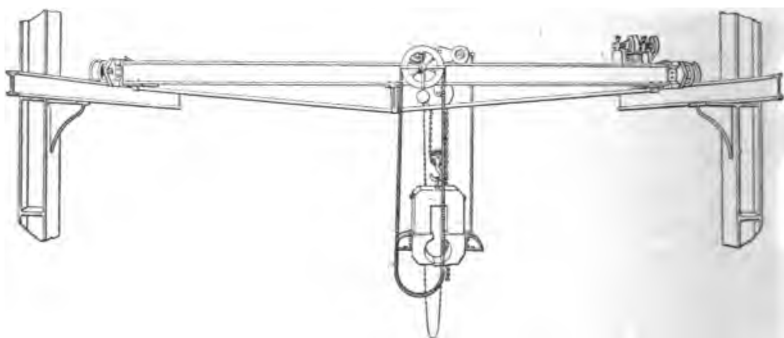


Fig. 301. — Pont-roulant électrique de la maison Crompton et Co, de Londres.

d'une force portante de 20000 kg, pouvant se déplacer dans toute la longueur du hall. Deux autres ponts-

roulants électriques avec treuils de 1500 et 6000 kg sont placés dans des bâtiments latéraux. Ces appareils rendent les plus grands services.

Nous terminerons en représentant les dispositions adoptées pour les ponts-roulants électriques par MM. Thomas Broadbent and Sons, de Huddersfield (Angleterre) (Fig. 300), et par la maison Crompton, de Londres (Fig. 301).

Nous ne pouvons à notre grand regret insister davantage sur ces engins si intéressants; mais ce que nous en avons dit suffit pour montrer toute l'importance qu'ils peuvent prendre prochainement dans l'industrie.

I. Machines pour usages domestiques.

Jusqu'ici nous n'avons parlé que des applications d'une certaine importance pouvant être réalisées dans les usines ou les ateliers; mais, à côté de celles-là, il en est d'autres qui, pour exiger des puissances plus faibles, n'en sont pas moins utiles. Nous voulons parler des applications qui peuvent être faites dans des chambres d'ouvriers, dans des appartements, dans des hôtels, et que nous allons examiner.

Nous trouvons d'abord les machines à coudre. Dans quelques ateliers on s'est contenté de réunir plusieurs machines à coudre sur un même arbre, et de commander celui-ci électriquement. Mais on a évidemment intérêt à actionner toujours individuellement chaque machine. La Fig. 302 donne la vue d'ensemble d'une machine avec un moteur électrique ainsi que la transmission; l'interrupteur est manœuvré par la pédale qui servait autrefois au mouvement des pieds.

La maison Révillon frères, à Paris, qui possède une station centrale de distribution d'énergie électrique, a installé une douzaine de machines à coudre avec des



Fig. 308. — Vue d'ensemble d'une machine à coudre actionnée électriquement.

moteurs électriques de 30 watts de divers modèles, Boironet, Cozette, Gramme, Cadiot, etc. L'ingénieur de la maison, M. Andricon, a bien voulu nous fournir quelques intéressantes explications. Une courroie en caoutchouc à section carrée relie la petite poulie de la machine à coudre à la poulie à gorge du moteur. L'ancienne pédale de la commande au pied sert à manœuvrer un interrupteur, car l'ouvrière doit avoir les mains libres pour son travail. En appuyant de l'extrémité du pied, elle met le moteur en marche; en appuyant du talon elle l'arrête. Les moteurs des machines à coudre tournent à

la vitesse angulaire de 1500 à 1800 tours par minute en charge ; la machine elle-même fait 3 à 400 tours par minute. Généralement on intercale dans le circuit une résistance de 20 à 35 ohms pour obtenir la vitesse voulue. En outre des plombs fusibles, il y a un interrupteur à main sur chaque machine à coudre pour éviter que la nuit un accident quelconque ne fasse tomber la pédale et ne mette la machine en marche. La Fig. 303 donne le schéma de la disposition adoptée pour la commande électrique. La corde C étant enlevée, on visse à la jante du volant une tige t en fer rond, et on la place entre un buttoir B et une fourchette F reliée à une résistance R de 30 ohms. Les fils d'amenée du courant sont disposés comme le représente la figure ; en I est un interrupteur. En appuyant sur la pédale P dans le sens f, on engage la tige t dans la fourchette et on ferme le circuit. L'intensité nécessaire pour actionner une machine à coudre est de 0,8 à 1 ampère à 110 volts. Ces essais de commande électrique des machines à coudre ont donné jusqu'ici les plus heureux résultats ; le travail a été notablement augmenté, la fatigue annulée, et on a constaté une très grande amélioration dans l'état hygiénique du personnel.

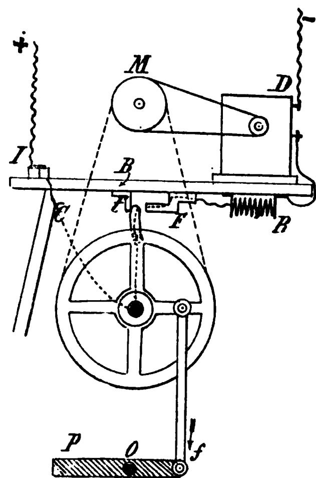


Fig. 303. — Schéma de la commande électrique d'une machine à coudre, de la maison Révillon frères.

La Cie Emerson Electric de Saint-Louis, en Amérique, dispose un moteur à courants alternatifs (Fig. 304)

sur une tablette avec commande par courroie. L'interrupteur de circuit est également manœuvré par la pédale.

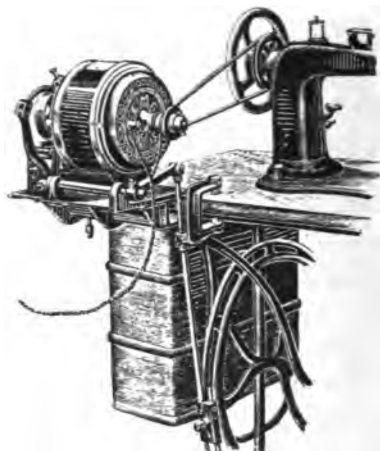


Fig. 304. — Disposition employée par la Cie Emerson Electric pour la commande des machines à coudre.

La Fig. 305 représente la disposition adoptée par la maison Ganz et Cie de Budapest avec un moteur à courants alternatifs asynchrone de 100 watts à 100 volts et tournant à 1800 tours par minute.

Nous ne pouvons aussi que signaler ici les machines à laver, à rincer, à repasser et à lustrer le linge, et de toutes sortes qui sont employées dans les maisons particulières ou dans les hôtels, surtout en Amérique. En général, on a utilisé les machines existantes et on a adapté la commande par moteurs électriques.

Dans bien des cas, on a besoin de préparer d'assez grandes quantités de glace. La figure 305 *bis* mon-

tre l'installation effectuée par l'A. E. G. d'un moteur électrique à une machine à glace à ammoniaque.

Il existe également des machines à polir l'argenterie, à



Fig. 305. — Machine à coudre actionnée par un moteur à courants alternatifs Ganz et Cie.

nettoyer les couteaux, à frotter le parquet, à cirer les bottines. Un grand nombre de ces machines ont été mises en évidence et actionnées électriquement dans diverses

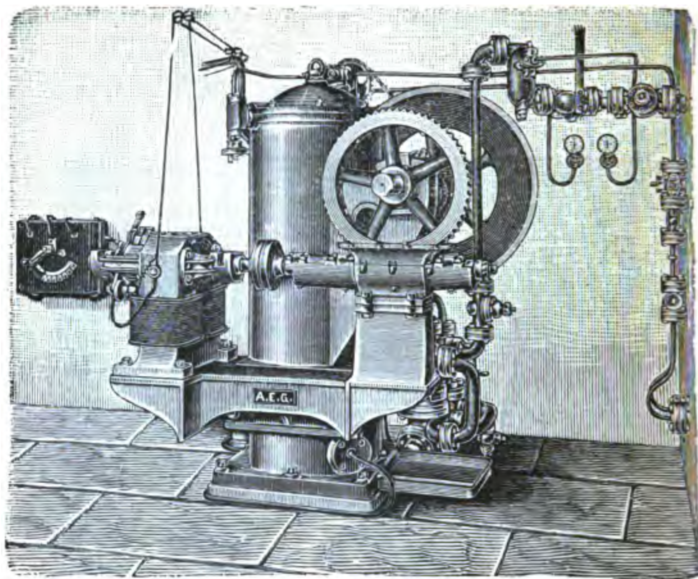


Fig. 305 *bis*. — Installation d'une machine à glace à ammoniaque commandée par un moteur électrique.

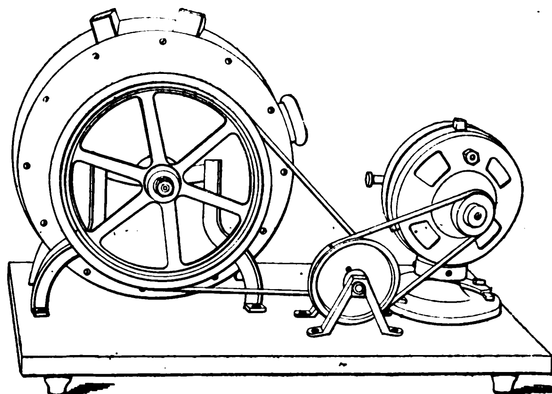


Fig. 306. — Machine à nettoyer les couteaux commandée par un moteur électrique.

expositions de machines-outils à Budapest, à Gratz, etc. La Figure 306 montre une machine à nettoyer les couteaux actionnée à l'aide d'une transmission intermédiaire par un moteur à courants alternatifs de 185 watts à 1600 tours par minute. Deux tampons en cuir en regard l'un de l'autre sont mis en mouvement; par des ouvertures extérieures on place les couteaux suivant des rayons

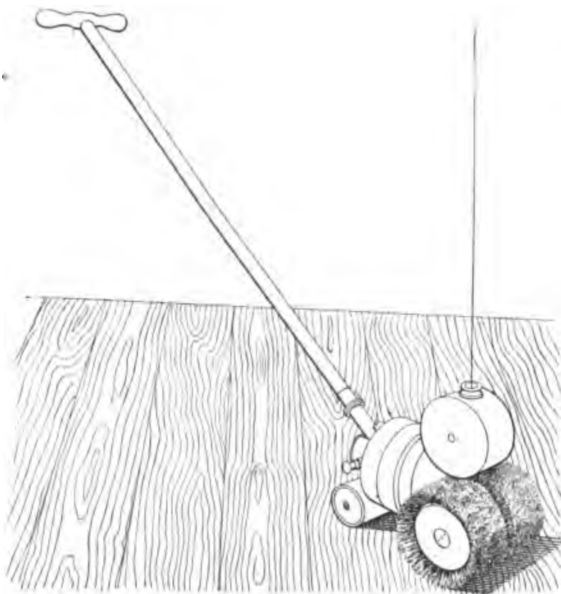


Fig. 307. — Brosse à cirer le parquet actionnée par un moteur électrique.

entre les deux tampons. Le mouvement rapide détermine un frottement qui nettoie vite et bien les couteaux. La Fig. 307 représente une brosse à frotter le parquet; un moteur électrique de 185 watts à 100 volts actionne la brosse; il suffit de déplacer l'appareil à l'aide d'un manche

approprié. Dans la Fig. 308 se trouve une brosse à cirer les souliers; un moteur électrique de 185 watts placé au fond actionne par double transmission deux brosses



Fig. 308. — Brosse à cirer les chaussures actionnée par un moteur électrique.

situées en avant; la bottine se place entre les deux brosses.

Dernièrement dans les journaux électriques, ne parlait-on pas d'un plumeau électrique formé par un moteur

électrique minuscule actionnant un compresseur d'air pour chasser la poussière, et mieux encore d'un raréfacteur d'air qui absorbait dans un petit récipient toutes les poussières et permettait ensuite de les chasser au dehors.

Il est une autre application qui rendrait certainement de grands services si elle pouvait être appliquée définitivement sur une grande échelle ; nous voulons parler des horloges électriques. Nous avons bien à Paris la distribution de l'heure par l'air comprimé, la distribution électrique de l'heure en quelques centres horaires. La pre-

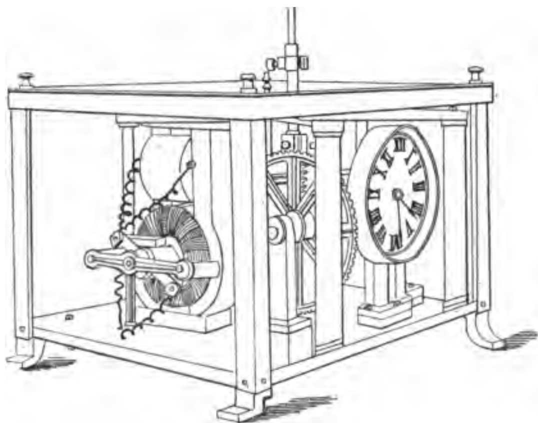


Fig. 309. — Horloge actionnée par un moteur électrique.

mière ne fonctionne pas assez régulièrement, la deuxième n'est pas très étendue. En Amérique il existe des distributions d'heures avec régulation à époques fixes. On se souvient encore de l'installation qui avait été faite à l'Exposition de Chicago par la Compagnie des horloges à remontage automatique de New-York; une horloge cen-

trale servait de régulatrice à 200 petites horloges voisines. Un contact établi à heure fixe faisait fonctionner un moteur qui bandait le ressort moteur. Nous représentons dans la Fig. 309 une horloge ainsi disposée avec un moteur électrique et divers rouages. Le moteur peut être mis en marche à époques fixes.

L'Allegemeine Elektricitæts-Gesellschaft, de Berlin, a également imaginé des horloges électriques qui peuvent être branchées sur les distributions actuelles d'énergie électrique avec moteurs spéciaux pour la marche; le réglage est opéré tous les matins par un abaissement de 110 à 85 volts à la station centrale. La dépense d'énergie électrique par année pour l'entretien d'une telle horloge ne dépasserait pas 600 à 700 watts-heure.

Il existe en effet jusqu'ici un grand nombre d'horloges électriques; mais il y en a fort peu qui peuvent être alimentées par les réseaux de distribution servant à l'éclairage. Nous pensons cependant qu'en raison des ennuis que présente le remontage des horloges ordinaires, ces appareils seraient accueillis très favorablement dans les grandes villes.

En terminant ce chapitre, nous mentionnerons enfin les pianos électriques, dont il existe déjà tant de spécimens (Trouvé, Stransky... etc.), et qui peuvent être actionnés si aisément par un moteur électrique de faible puissance branché à la place d'une lampe à incandescence.

J. **Machines diverses.**

En plus de toutes les applications que nous avons signalées, il en existe encore un grand nombre que nous n'avons pu classer dans les précédentes. Il peut même s'en présenter encore beaucoup que l'on ne saurait prévoir. Nous avons cru cependant ne pas pouvoir nous contenter d'un terme général pour désigner les applications auxquelles se prêtaient les moteurs électriques, et nous avons réuni encore ci-après une série d'autres applications.

Nous mentionnerons tout d'abord les voies roulantes de la gare de Cassel et de la gare de Düsseldorf. Ces voies peuvent être déplacées à l'aide de moteurs électriques de 7,850 et 8,680 kw. Nous aurions aussi à signaler un grand nombre de ponts-tournants, dont les manœuvres sont commandées par des moteurs électriques.

Il existe dans un grand nombre de villes des industries spéciales telles que le tissage, la passementerie. Les ouvriers sont des artistes qui possèdent chez eux leurs outils, leurs appareils. On se préoccupe vivement de leur distribuer une force motrice de prix de revient peu élevé, qui leur permettra d'accroître leur production et de lutter avec avantage contre la concurrence étrangère. C'est ainsi que la ville de Saint-Etienne a établi divers concours pour des distributions d'énergie électrique à domicile, et pour assurer la mise en marche électrique des métiers à tisser. Dans la seule ville de Saint-Etienne, en France, on compte 5000 métiers à tisser dans diverses usines et 18000 chez les ouvriers. La ville de Lyon est aussi une des premières intéressées à assurer facilement la com-

mande électrique des métiers à fabriquer la soie, pour accroître la production.

A côté de ces questions si importantes et qui nécessiteraient à elles seules de très longs développements, nous trouvons encore les presses à imprimer, qui actionnées électriquement produiront par heure une plus grande quantité d'exemplaires avec une dépense minime. Nous avons déjà vu dans Paris plusieurs presses à imprimer électriques, notamment à la Bourse du commerce, où un moteur de 736 watts de la Société Electro-mécanique actionne une presse Marinoni pouvant donner 1000 exemplaires à l'heure.

Nous citerons aussi M. E. Buxtorf, ingénieur-mécanicien à Troyes, qui a construit et fait fonctionner un Jacquard électrique pour l'obtention de rayures, et petits dessins de couleurs en maille unie pour la bonneterie, jerseys, ainsi que pour les étoffes de fantaisie, ameublement, imitations de velours. Le même inventeur a breveté également une machine automatique électrique à graver et à reproduire sur toutes surfaces toutes figures ou tout type original dessiné ou imprimé sans reliefs, avec faculté de réductions, d'agrandissements et de déformations totales ou partielles.

Il existe aussi divers modèles d'essoreuses électriques de diverses puissances et pouvant fonctionner à des vitesses angulaires assez élevées, de 1000 à 500 tours par minute. Nous citerons les récents appareils de MM. Buffaud et Robatel, et les essoreuses de l'*Allgemeine Electricitæts-Gesellschaft*.

L'Exposition de Lyon, en 1894, dont nous avons déjà parlé au commencement de cet ouvrage, a donné lieu à une importante démonstration de la distribution électri-

que de l'énergie et des multiples applications auxquelles elle se prête. Les transmissions mécaniques avaient été entièrement supprimées et des moteurs électriques étaient placés chez les exposants qui avaient besoin de force motrice. L'énergie électrique était fournie à ces moteurs par un circuit de distribution à 2 fils à courants continus à 110 volts, par un circuit à 2 fils à courants alternatifs simples à 110 volts, et par un circuit à trois fils à courants alternatifs triphasés. La distribution à courants continus était assurée par la station centrale Piguet d'une puissance totale d'environ 600 kw; les distributions à courants alternatifs simples et à courants triphasés étaient fournies par l'usine d'Oerlikon d'une puissance égale à 80 kw. Un autre circuit commun à l'éclairage et à la distribution de force motrice était alimenté par l'usine Demange et Satre d'une puissance de 160 kilowatts.

Le nombre total des moteurs en service soit à courants continus, soit à courants alternatifs ou triphasés était de 72 d'une puissance totale de 150 kw, dont 45 de 0,736 kw, et au-dessous, 21 de 0,736 à 7,36 kw, 4 au-dessus de 7,36 kw, et 2 de 18,5 kw. Ces moteurs appartenaient aux modèles les plus divers et étaient fournis par M. Hillairet, la Société d'Oerlikon, la Société *L'Eclairage électrique*, la C[ie] *de Fives-Lille*, MM. Sautter-Harlé, la C[ie] *Electro-mécanique*, la C[ie] *Schuckert* de Nuremberg. Tous ces moteurs mettaient en mouvement des machines de tout genre : machines à glace, à bois, presses, machines lithographiques, ventilateurs, pompes, etc.

Nous mentionnerons quelques résultats d'expériences qui ont été faites sur divers appareils, et nous passerons ensuite en revue les applications réalisées.

La Fig. 309 *bis* représente les dispositions adoptées pour

un moteur à courants continus de la Cie Schuckert de 4,4 kw actionnant des machines à fabriquer le chocolat et le savon. Ce moteur se trouvait dans l'Exposition de MM. Beyer frères ; il mettait en mouvement un arbre de transmission et celui-ci commandait un mélangeur-malaxeur, une tamiseuse à deux tamis, une pilerie à deux pilons-trépans, une broyeuse à 4 cylindres et boudineuse combinés. M. C. Tainturier, chef du service électrique de l'Exposition de Lyon, a effectué sur cette installation certaines expériences intéressantes dont nous dirons quelques mots. Le moteur considéré avait un rendement



Fig. 309 bis. — Vue d'ensemble de l'installation électrique de MM. Beyer, à l'Exposition de Lyon en 1894.

industriel propre de 86 pour 100, à la puissance maxima de 4,4 kw. Les expériences ont porté sur la dépense de puissance dans les transmissions et sur la consommation de puissance par chacune des machines en mouvement. Toutes machines débrayées, le moteur sur la transmission a consommé une puissance de 960 watts (120 volts et 8 ampères). Le mélangeur malaxeur a été em-

brayé ensuite. Cet appareil à table tournante et galets en granit peut produire environ 50 kg de matière par heure. Au démarrage, l'intensité a atteint 25 ampères à 120 volts soit 3 kw ; mais la puissance absorbée est bientôt retombée à 1,320 kw (11 ampères, 120 volts). Le tamiseur à 2 tamis, produisant 15 kg de matière à l'heure, a pris une puissance de 200 watts. La pileuse double, donnant environ 20 kg de matières par heure, a consommé 480 watts. La broyeuse à 4 cylindres avec boudineuse combinées, pouvant produire 135 kg de savon par heure, a absorbé à vide 960 watts ; la broyeuse seule en charge a consommé 2,520 kw. La boudineuse seule en marche a pris à son tour une puissance de 1440 watts. La broyeuse et la boudineuse combinées consomment donc ensemble 3,960 kw. Ces résultats sont très intéressants et nous pouvons les résumer dans le tableau suivant :

Puissance	dépensée	dans la transmission,	960	watts.
—	—	par un mélangeur donnant 50 kg de matière par heure	360	—
—	—	par un tamiseur donnant 15 kg de matière par heure. . . .	200	—
—	—	par une pileuse double donnant 20 kg de matière par heure . .	480	—
—	—	par une broyeuse et une boudineuse combinées produisant 135 kg de savon par heure		
—	—	par broyeuse à vide .	960	—
—	—	— en charge .	2520	—
—	—	par boudineuse en charge .	1440	—

Ces résultats donnent quelques chiffres sur les puissances consommées par divers appareils employés dans la fabrication du savon ; mais nous ferons remarquer qu'il s'agit d'appareils ordinaires actionnés électriquement à l'aide de transmissions ordinaires. Les résultats auraient été encore plus satisfaisants s'il s'était agi d'appareils électriques combinés spécialement pour cette fabrication.

Nous parlerons maintenant des diverses applications qui ont été exposées à Lyon avec l'emploi de la force motrice électrique.

Parmi les différentes installations de force motrice à l'intérieur de l'Exposition, nous citerons les installations de la *Cie Electro-mécanique,* de la maison Guitton et Bertolus de Saint-Etienne, représentant en France les ateliers d'Oerlikon, de la Société *L'Eclairage électrique,* de la *Cie de Fives-Lille,* de la maison Lombard-Gérin, et de l'ancienne maison Schuckert et Cie de Nuremberg.

L'installation de la *Cie Electro-mécanique,* qui avait été organisée par les soins de M. A. Fourrier, ingénieur de la Cie, à Lyon, comprenait un moteur à courants continus Brown à 4 pôles, de 100 kw à 110 volts et 400 tours par minute, construit par la Société des établissements Weyher et Richemond, à Pantin. Ce moteur à enroulement Siemens a un rendement industriel de 93 pour 100 et peut supporter une surcharge de 20 à 25 pour 100, sans que la température de l'induit s'élève à plus de 30° au-dessus de la température ambiante. Plusieurs autres moteurs de 50 kw et au-dessous étaient utilisés dans diverses expositions (J. Sloan et Cie, Geneste et Herscher, Diederichs, Cie française des moteurs Niel, etc.). Le moteur de 100 kw actionnait par courroie un alternateur Brown de 50 kw,

à 100 volts, à courants diphasés. L'énergie électrique produite par cet alternateur était utilisée pour alimenter des lampes à arc et à incandescence et plusieurs moteurs à courants diphasés, dont 1 de 1,03 kw actionnant une pompe centrifuge Dumont, 1 moteur de 2,210 kw, et 1 de 25,76 kw à courants triphasés.

L'installation de la maison Guitton et Bertolus comprenait plusieurs ventilateurs actionnés par des moteurs à courants continus qui étaient branchés sur le réseau général de distribution, ainsi qu'un modèle de la perceuse électrique à courants continus dont nous avons parlé précédemment. Les courants triphasés de cette installation actionnaient un pont-roulant de 5 tonnes placé dans la station centrale, ainsi que divers autres moteurs de faible puissance répartis chez divers abonnés. Nous avons déjà signalé le moteur à courants triphasés de 17, 6 kw mettant en marche une machine à glace.

La Société l'*Eclairage électrique* avait installé plusieurs machines actionnées par un moteur Rechinewski à 2 pôles, à courants continus de 15 kw branché sur le circuit général de distribution. Ce moteur actionnait par courroie un alternateur Labour à basse tension de 15 kw, à excitatrice montée sur son arbre. Cet alternateur peut donner à volonté des courants alternatifs simples, diphasés ou triphasés. Il fournissait à son tour l'énergie électrique à un moteur diphasé synchrone de 7, 4 kw situé dans un autre bâtiment à 50 mètres. Ce dernier moteur faisait fonctionner les machines frigorifiques de la Société de constructions mécaniques spéciales.

La *Compagnie de Fives-Lille* avait branché sur la distribution générale un moteur à courants continus à 4 pôles de 16, 2 kw, divers moteurs de puissances variant

de 50 watts à 2,944 kw, 1 moteur de 7,36 kw pour un pont roulant de 2 tonnes, et un autre moteur de 33 kw actionnant par courroie un alternateur à courants triphasés.

La maison Lombard-Gérin avait installé un moteur asynchrone à courants diphasés de 14, 7 kw sur le circuit alimenté par deux alternateurs Ganz manchonnés sur le même arbre et donnant des courants décalés de 90°. Ce moteur actionnait une dynamo servant à l'éclairage de la station.

L'ancienne maison Schuckert avait branché sur la distribution à courants continus un moteur à 4 pôles de 29,44 kw à 4 pôles, et celui-ci actionnait une dynamo à 4 pôles de 27 kw servant à fournir l'énergie électrique à un projecteur placé au sommet de la grande coupole.

Comme on le voit par ces quelques exemples, l'Exposition de Lyon en 1894 a montré, par des preuves évidentes et nombreuses, toutes les ressources que peut offrir la distribution de l'énergie électrique pour la force motrice. Cette Exposition, au point de vue qui nous intéresse spécialement, mérite d'occuper une grande place dans l'histoire de ces développements de l'industrie électrique.



Fig. 310.— Timbreur automatique électrique.

Notre Figure 310 représente un timbreur automatique d'invention américaine qui peut rendre de grands services dans les bureaux. Il est formé d'un moteur électrique de très faible puissance à marche très

lente qui fait déplacer un ruban sur lequel sont mentionnés la date, le mois, l'année et l'heure. Toutes les minutes un déplacement se produit automatiquement, et le timbreur indique la nouvelle minute. Il suffit d'approcher une feuille de papier sur la petite tablette, de saisir la poignée supérieure et de l'abaisser pour imprimer sur le papier le mois, la date, l'année et l'heure à laquelle s'est opérée l'impression. Tous les mois il est nécessaire de changer le nom du mois.

L'industrie de la bijouterie, en dehors des machines que nous avons déjà mentionnées, a besoin de diverses autres machines. La Fig. 311 représente une machine à



Fig. 311. — Machine à polir électrique.

polir actionnée par un moteur de 66 watts tournant à 2000 tours par minute ; ce moteur a été installé à Pforz-

heim par l'*Elektrizitæts Aktiengesellschaft*. La même Société a installé la table à polir (Fig. 312) actionnée par



Fig. 312. — Table à polir actionnée par un moteur électrique.

double transmission à l'aide d'un moteur de 1050 watts à 1200 tours par minute, ainsi qu'une machine à faire les chaînettes commandée par un moteur de 245 watts à 1500 tours par minute.

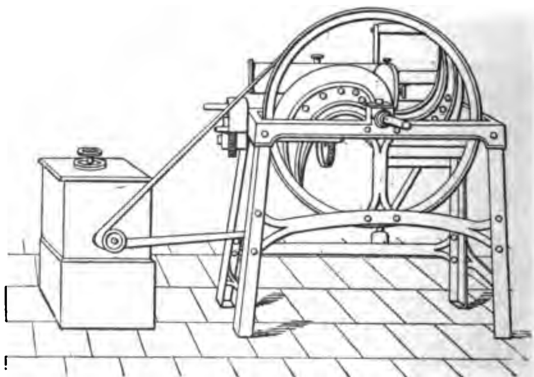


Fig. 313. — Hache-paille actionné par un moteur électrique.

Nous avons aussi à mentionner en service dans un grand nombre de villes, sur les réseaux de distribution, des hache-paille, des hache-grains, des hache-viande, des

machines à battre les grains, à pétrir, à mélanger, à broyer, à pulvériser, à battre le beurre, etc. La Figure 313 représente un modèle de hache-paille.

Les tailleurs américains emploient beaucoup le coupe-drap représenté dans la Fig. 314, qui leur permet de tailler plusieurs patrons à la fois et de réaliser une grande économie. L'appareil est formé d'un moteur électrique très léger, qui actionne une lame circulaire coupante à la vitesse angulaire de 2000 tours par minute. Le tailleur tient l'outil par le manche et le déplace sur les épaisseurs de drap à découper suivant des lignes tracées à l'avance. A New-York plusieurs grandes maisons de confection utilisent cet appareil qui leur permet de couper *vite et beaucoup à la fois*.

Citons encore, employées même à Paris, les brosses à tête électriques des coiffeurs et les appareils à forer des dentistes, actionnés par des moteurs électriques qui atteignent des vitesses angulaires de 2500 tours par minute.

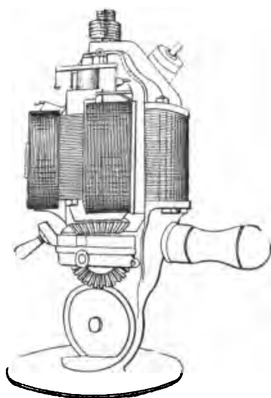


Fig. 314. — Coupe-drap électrique.

Un moteur électrique de 2,2 kw a été installé en 1893 par la Cie Edison pour la manœuvre du rideau au théâtre de la Comédie-Française.

Dans ce troisième chapitre, nous avons successivement étudié les diverses applications que l'on peut réaliser avec le concours de la force motrice électrique. Nous avons étudié les différents appareils exécutés jusqu'ici ; nous avons analysé

les résultats des expériences effectuées dans divers ateliers jusqu'à ce jour, et, chaque fois que cela nous a été possible, nous n'avons pas manqué de mentionner tout spécialement les résultats industriels obtenus en pratique.

Nous devons reconnaître que les bases sur lesquelles l'on peut compter sont encore loin d'être déterminées avec exactitude. Il y a encore bien des incertitudes ; mais on peut affirmer, sans crainte d'être démenti, que l'énergie électrique peut rendre aujourd'hui des services aussi étendus en ce qui concerne la force motrice que pour l'éclairage.

CHAPITRE IV

DÉPENSES POUR APPAREILS ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DANS LES APPLICATIONS DIVERSES

Le chapitre que nous venons de traiter devrait être nécessairement complété par un recueil de devis concernant les diverses applications dont nous avons parlé. Sans doute ces applications sont des plus intéressantes en elles-mêmes; mais il reste à savoir si elles peuvent être employées, si les dépenses d'installation ne sont pas prohibitives, et si les dépenses d'exploitation peuvent être acceptées dans une maison de commerce ou dans une industrie sans grever notablement l'état des dépenses.

Nous avons montré précédemment que l'emploi des moteurs électriques assurait de grandes économies dans une exploitation rationnelle et logique.

Nous ne pouvons malheureusement pas nous étendre aussi longuement sur les dépenses d'installation et les analyser complètement. Les raisons en sont multiples : d'abord les applications sont peu nombreuses, les premières ont demandé des tâtonnements, des hésitations, et les constructeurs ne peuvent encore établir de prix bien déterminés. Ensuite une même application peut convenir à des installations souvent très diverses. Dans

un cas les dépenses premières pourront être supérieures; dans un autre cas, elles seront inférieures.

Nous dirons seulement que chaque installation particulière nécessitera l'étude soignée et attentive d'un ingénieur compétent, dans chaque cas la solution la plus simple et la plus économique. Un client ne devra pas s'en rapporter aux dires d'un soi-disant électricien qui promet monts et merveilles, ne tient aucune de ses promesses, et entraîne bien des désillusions, comme cela est arrivé trop souvent pour les installations d'éclairage électrique.

Nous avons pu cependant nous procurer quelques renseignements pour les diverses installations à Paris, et nous les faisons connaître dans les lignes suivantes.

A. **Transmissions dans les ateliers.**

Courants continus.

INSTALLATION DE TROIS MOTEURS DE 0,736 KW DANS UN ATELIER

Dans un atelier comprenant trois tours à bois, on a installé trois moteurs de 0,736 kw à 110 volts. Les dépenses d'installation ont été les suivantes :

Branchement (achat) 10 mètres à 15 fr le m . .	150 fr.
Trois moteurs de 0,736 kw (achat) à 500 fr .	1500
Installation des moteurs	50
Appareils pour moteurs	100
Compteur spécial pour force motrice (achat) . .	230
Total.	2030 fr.

Soit par kw installé 919,5 fr.

Cette installation a été branchée sur une installation d'éclairage déjà existante; mais il a fallu refaire le branchement avec un câble de section plus élevée. Nous n'avons compté que les dépenses nouvelles occasionnées, et nous avons supposé l'achat du branchement et du compteur.

Au lieu de trois moteurs dont chacun commande un tour, on aurait pu installer un seul moteur avec transmissions intermédiaires ; mais étant donnée une perte de 30 à 40 pour 100 dans les transmissions, un moteur de 4,4 kw environ devenait nécessaire. Le prix eût été de 1100 francs au lieu de 1500 francs; mais il fallait encore ajouter les dépenses de transmission. Le rendement industriel de l'exploitation eût été aussi bien différent. La solution adoptée a donc paru la plus avantageuse.

INSTALLATION D'UN MOTEUR DE SIX CHEVAUX POUR MACHINES-OUTILS

La transmission principale, reliée d'une part à une machine à vapeur, actionnait à l'aide de courroies 3 tours, 2 perceuses et 1 cisaille. La machine à vapeur a été supprimée et remplacée par un moteur électrique de 4,4 kw utiles, à 110 volts; l'installation ne comporte pas d'éclairage :

Branchement (achat) 3 mètres à 15 fr par m.	45 fr.
Coffret extérieur	40 —
Moteur de 4,4 kw (achat)	1100 —
Installation du moteur	200 —
Tableau de distribution. Appareils	300 —
Compteur (achat).	300 —
Total.	1985 fr.

Soit par kw installé 428,5 fr.

Installation d'un moteur de 15 kw dans une usine

Dans une usine où se trouvaient installés 3 tours, 4 perceuses, 1 scie circulaire, 1 meule, 2 alésoirs, on a remplacé un moteur à gaz de 20 chevaux par un moteur électrique de 15 kw. Les dépenses de premier établissement ont été :

Branchement (achat), 5 m. à 24 fr. le m . .	120 fr.
Coffret extérieur	60 —
Moteur de 15 kw	3000 —
Installation du moteur	500 —
Tableau de distribution. Appareils	500 —
Compteur (achat)	400 —
Total	4580 fr.

Soit par kw installé 305,3 fr.

Courants alternatifs monophasés.

Installation d'un moteur de 4,4 kw dans un atelier

Un moteur de 4,4 kw commande une transmission principale qui actionne à son tour diverses transmissions reliées par courroies à des machines-outils. Pour faciliter le démarrage, on a installé deux poulies, l'une fixe et l'autre folle, sur une transmission intermédaire. Les dépenses ont été les suivantes :

Branchement, 10 m. à 25 fr le mètre	250 fr.
Moteur de 4,4 kw.	1500 —
Installation	500 —
Appareils de distribution	50 —
Compteur	300 —
Total	2600 fr.

Soit par kw installé 600 fr environ.

Dans cette installation, on a utilisé le tableau de distribution, le coffret et autres appareils existant déjà pour la distribution de l'énergie électrique destinée à l'éclairage.

B. Ascenseurs.

Comme nous l'avons dit en parlant des ascenseurs, leur prix d'établissement n'est pas encore bien fixé. Chaque jour on fait de nouvelles installations et on apporte de notables améliorations qui diminuent les prix de revient.

Dans les conditions actuelles, on peut compter à Paris une somme de 4000 francs pour la transformation d'un ascenseur hydraulique en ascenseur électrique pouvant élever quatre personnes à la hauteur d'un 5e étage, soit à environ 15 à 18 mètres. L'installation complète reviendrait à 10000 francs environ.

C. Prix divers des appareils électriques.

Il nous reste maintenant à donner quelques prix des appareils électriques eux-mêmes, non pour déterminer strictement la dépense nécessaire pour une installation donnée, mais pour fixer approximativement les idées dans un avant-projet. Les prix donnés se rapportent aux appareils électriques pris à Paris. Il faut ajouter à cette première dépense les frais de pose et d'installation comprenant le branchement, le tableau de distribution et les canalisations nécessaires d'après les prix que nous avons indiqués plus haut.

Nous ferons remarquer que les prix de ces divers appareils sont très variables suivant les constructeurs ;

nous avons pu cependant établir quelques moyennes suffisamment exactes, en ce qui concerne :

1° *Les moteurs électriques à courants continus, à courants alternatifs simples et à courants polyphasés.*
2° *Les ventilateurs électriques.*
3° *Les treuils et grues électriques.*
4° *Les pompes électriques.*
5° *Les machines à percer.*
6° *Les machines à coudre.*

Ces prix peuvent servir à établir des avant-projets approximatifs. Nous n'avons pas compris d'appareils d'une puissance supérieure à 100 kilowatts.

1° *Moteurs électriques.*

Moteurs a courants continus

Ces moteurs fonctionnent à Paris sur des différences de potentiel de 110 à 440 volts. Les prix sont les suivants :

	Puissance en kw.	Prix en francs.
Moteurs à 2 pôles	de 0,1 à 0,2	250 à 300
—	de 0,3 à 0,4	350 à 400
—	de 0,5 à 1	450 à 550
—	de 1,1 à 10	600 à 2000
—	de 10 à 40	2000 à 6500
Moteurs à 4 pôles	de 40 à 80	6500 à 13500
Moteurs à 6 pôles	de 80 à 100	13500 à 16500

Moteurs a courants alternatifs simples

Ces moteurs fonctionnent à une différence de potentiel ordinaire de 110 volts ; les prix ci-dessous comprennent les appareils de démarrage.

Puissance en kw.	Prix en francs.
de 0,25 à 0,5	350 à 550
de 0,7 à 1,5	600 à 800
de 2,2 à 4,5	900 à 1500
de 5,6 à 7,3	1600 à 1900
de 8 à 11	2000 à 2500

MOTEURS A COURANTS ALTERNATIFS POLYPHASÉS

La différence de potentiel est également de 110 volts, et les prix comprennent aussi les appareils de démarrage.

Puissance en kw.	Prix en francs.
de 0,2 à 0,7	250 à 350
de 1,5 à 3,6	550 à 1150
de 5 à 6	1200 à 1500
de 7,3 à 15	1900 à 2500
de 20 à 33	3000 à 5000

2° *Ventilateurs électriques.*

Parmi les ventilateurs, nous distinguerons les ventilateurs-éventails ou agitateurs d'air, et les ventilateurs proprement dits avec aspiration et refoulement. Les prix comprennent le moteur électrique et le ventilateur combinés.

VENTILATEURS-ÉVENTAILS, 110-440 VOLTS

Puissance en kw.	m³ d'air déplacés par heure.	Vitesse angulaire en tours par minute.	Prix en francs.
0,050	»	1500	100
0,100	30	1500	220
—	—	700	275
de 0,150 à 0,300	de 40 à 100	de 600 à 500	400 à 550
de 0,400 à 1	de 120 à 300	de 450 à 350	600 à 900
de 1 à 1,5	de 300 à 400	de 350 à 300	900 à 1100

VENTILATEURS ASPIRANTS ET SOUFFLANTS, 110-440 VOLTS

Puissance en kw	m^3 d'air refoulés par heure.	Pression de l'air mesurée par une colonne d'eau de hauteur en cm.	Vitesse angulaire en tours par minute.	Prix en francs.
de 0,08 à 0,350	45 à 150	de 4 à 10	1800 à 1200	250 à 400
de 0,350 à 1,5	150 à 600	de 10 à 20	1200 à 900	400 à 1200

3° *Treuils et grues électriques.*

Nous indiquons ci-après les prix des treuils, avec appreils de manœuvres, suivant la puissance du moteur électrique :

Puissance du moteur en kw.	Prix en francs.
de 1 à 1,5	1500 à 1650
de 1,5 à 2,2	1650 à 1850
de 2,2 à 3,7	1850 à 2200
de 3,7 à 6	2200 à 2800
de 6 à 7,4	2800 à 3500
de 7,4 à 11	3500 à 4500
de 11 à 15	4500 à 6000

Pour ce qui concerne les grues électriques, nous pouvons ajouter quelques renseignements intéressants. Plusieurs projets ont été étudiés dernièrement pour l'installation de grues électriques sur les quais de Bordeaux par la maison Lombard-Gérin et Cie, la Cie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston, la maison Guyenet, Cail, la Cie Electro-mécanique, la Société alsacienne de constructions mécaniques, et la Cie des moteurs Niel.

Nous ne nous arrêterons pas à toutes les dispositions intéressantes de ces projets, qui comprenaient à la fois

l'éclairage et la force motrice; nous n'examinerons que ce qui concerne les grues électriques.

L'installation comprenait :

9	grues d'une force portante	de	1500 kg.
2	—	—	3000 kg.
1	—	—	10000 kg.
1	—	—	80000 kg.

En tenant compte des rendements industriels, et de la nécessité pour plusieurs grues de fonctionner en même temps, on trouvait que la puissance moyenne des dynamos génératrices devait être de 170 kilowatts. Dans quelques cas de surcharge momentanée, elle aurait pu atteindre 210 kw. La puissance nécessaire a été estimée à 22, 9 kw pour les grues de 1500 kg, levant la charge à une vitesse de 0,60 m par seconde et pour les grues de 3000 kg levant la charge à la vitesse de 0,30 m par seconde, et à 25,2 kw pour la grue de 10 tonnes.

Des études et des projets soumis il résulte que l'installation des 13 grues aurait coûté 180000 francs, non compris les dépenses relatives aux appareils électriques des engins de levage eux-mêmes, dépenses estimées, en moyenne, à 6000 francs par grue. La dépense totale d'installation aurait donc été de 258000 francs, soit 19846 fr par grue.

Les projets ont également déterminé les frais d'exploitation en admettant un amortissement de 4 pour 100 pendant 30 ans, et en supposant en fonctionnement normal seulement les 9 grues de 1500 kg et les 2 grues de 3000 kg. Avec une durée moyenne de fonctionnement de 112 jours de 10 heures par an, et à raison d'une manutention de

300 tonnes par jour, les dépenses auraient été les suivantes par jour :

Energie électrique. , ...	18,94 fr.
Graisse	0,36 —
Manœuvres et entretien	8,00 —
Total. .	27,30 fr.

Le prix de revient de l'hectowatt-heure au pied de la grue était de 0,081 fr.

En admettant une durée de travail de 365 jours par an, dans les mêmes conditions, les dépenses auraient été par jour :

Energie électrique.	9,46 fr.
Graisse	0,36 —
Manœuvres	4,00 —
Entretien	0,72 —
Total . .	14,54 fr.

Le prix de revient de l'hectowatt-heure au pied de la grue était de 0,040.

Ces prix de revient nous semblent un peu exagérés ; il est certain en effet que, pour une installation de ce genre fonctionnant de jour une station centrale n'hésiterait pas à fournir l'énergie électrique à un prix inférieur, comme cela est arrivé en plusieurs circonstances ; n'oublions pas qu'il s'agit là de chiffres relevés dans un projet.

4° *Pompes électriques.*

Les prix des pompes électriques seront très variables suivant la hauteur de refoulement et suivant le débit de-

mandé. Nous indiquons à ce sujet quelques données diverses :

Puissance du moteur en kw.	Hauteur de refoulement en mètres.	Débit en dm^3 (litres par minute).	Prix en francs.
de 0,050 à 0,100	de 1 à 8	de 5 à 20	500 à 1200
de 0,050 à 0,100	— —	de 10 à 30	1200 à 2000
de 0,150 à 0,736	de 18 à 35	de 25 à 70	2500 à 4000
de 0,736 à 2,200	de 35 à 45	de 70 à 150	4000 à 8000
de 2,200 à 3,700	de 45 à 60	de 150 à 400	8000 à 12000

5° *Perceuses électriques.*

Les prix ci-dessous se rapportent à des perceuses mobiles et comprennent les prix des flexibles avec porte-outils, qui sont presque aussi élevés que ceux du moteur lui-même :

Puissance du moteur en kw.	Vitesse angulaire en tours par minute		Prix en francs.
	de la perceuse.	de l'outil.	
de 0,5 à 0,7	de 600 à 450	de 100 à 80	800 à 1000
de 0,7 à 1	de 450 à 400	de 80 à 70	1000 à 1200
de 1 à 2	de 400 à 200	de 70 à 50	1200 à 1800

6° *Machines à coudre.*

Le prix de l'établissement de la commande électrique d'une machine à coudre revient environ :

avec un moteur de 0,1 kw à 325 francs
avec un moteur de 0,2 kw à 550 francs.

On compte le prix du moteur et une dépense moyenne de 50 francs pour l'ajustement et les transformations nécessaires.

Comme nous le disions en commençant, ces prix servent uniquement à fixer les idées pour des avant-projets.

CHAPITRE V

LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE A PARIS

Il nous a semblé indispensable de donner dans cet ouvrage quelques renseignements généraux sur la distribution de l'énergie électrique à Paris. Dans un avenir très rapproché, les applications électromécaniques s'y développeront considérablement, et nous en avons tous les jours des exemples de plus en plus nombreux.

La ville de Paris a été divisée en secteurs et chacun d'eux est exploité par une Société ; il importe pour un client d'avoir quelques données générales sur le système de distribution et de savoir à quelle Société il doit s'adresser.

Nous examinerons successivement :

A. **Les secteurs de Paris.**

B. **Les stations centrales.**

A. Les secteurs de Paris.

A la suite de nombreuses délibérations du Conseil municipal de Paris, en 1888, diverses concessions ont été accordées pour la pose de canalisations électriques dans les rues. Les terrains concédés à chaque Société pour une période de 18 années affectaient la forme de secteurs, afin d'assurer la distribution de l'énergie électrique sur toute la surface de Paris. La carte ci-jointe, qui a été empruntée à une étude complète sur les stations centrales à Paris, que nous avons publiée dans *L'Industrie électrique* et que M. E. Hospitalier a bien voulu nous autoriser à reproduire, donne les délimitations exactes de ces secteurs.

Le Secteur de la *Cie Continentale Edison* est limité par l'avenue de Saint-Ouen, l'avenue de Clichy, la rue de Clichy, la rue de la Chaussée-d'Antin, le Boulevard des Italiens, la Bourse, le Boulevard Poissonnière, le Boulevard Bonne-Nouvelle, la rue d'Enghien, la rue Bergère, la rue Rochechouart et la rue Clignancourt.

Le Secteur de la *Société anonyme d'éclairage et de force par l'électricité* a pour limites : le Boulevard Ornano, le Boulevard Barbès, le boulevard Magenta, la rue du faubourg Saint-Denis, la rue Montorgueil, la rue Etienne-Marcel, la rue Turbigo, la place de la République, le quai de Jemmapes, et la rue d'Allemagne.

La *Cie parisienne de l'Air comprimé* exploite un secteur compris entre le quai de Bercy, le quai de la Rapée, le quai Henri IV, le quai des Célestins, le quai de l'Hôtel-de-Ville, le quai de Gesvres, le quai de la Mégisserie, le quai du Louvre, le quai des Tuileries, la place de la Con-

corde, la rue Royale, le boulevard de la Madeleine, les grands boulevards jusqu'à la place de la République, la rue du faubourg du Temple et la rue de Belleville.

Le Secteur de la *Société de la place Clichy* a pour limites : l'avenue de Saint-Ouen, l'avenue de Clichy, la rue de Clichy, la rue de la Chaussée-d'Antin, le boulevard des Capucines, le boulevard de la Madeleine, la rue Royale, la rue du faubourg Saint-Honoré, la rue de Miromesnil, l'avenue de Messine, le parc Monceau et la rue de Prony.

Le *Secteur des Champs-Elysées* est limité par le quai de la Conférence, le quai de Billy, le quai de Passy, le quai d'Auteuil, le boulevard Murat, le boulevard Suchet, le boulevard Lannes, le boulevard Gouvion Saint-Cyr, le boulevard Malesherbes et la rue Royale.

Le *Service municipal* dessert à l'aide de courants continus l'éclairage électrique des Halles et quelques rues avoisinantes, et par courants alternatifs les rues Coquillière et des Petits-Champs et l'avenue de l'Opéra jusqu'à la place du Théâtre Français.

Le *Secteur de la Rive gauche* actuellement en installation doit comprendre toute la rive gauche.

Nous terminons ce paragraphe en donnant les sièges sociaux des diverses Sociétés concessionnaires de Paris, et en indiquant les systèmes de distribution employés par chacune d'elles.

SOCIÉTÉ	SIÈGE	SYSTÈME DE DISTRIBUTION
Cie continentale Edison	28, rue de Châteaudun	Distribution à courants continus à 3 fils, 110-220 volts.
Société d'éclairage et de force par l'électricité	13, rue Lafayette	Distribution à courants continus à 2 fils, à 110 volts.
Cie parisienne de l'air comprimé	54, rue Etienne Marcel	Distribution à courants continus à 2 fils, à 110 volts.
Société du secteur de la place Clichy	53, rue des Dames	Distribution à courants continus à 5 fils, 110-440 volts.
Société du secteur des Champs-Elysées	4, avenue des Ternes	Distribution à courants alternatifs simples, à 110 volts, à la fréquence de 40 périodes par seconde.
Service municipal	15, rue Vauvilliers	1° Distribution à courants continus à 3 fils, 110-220 volts.
—	—	2° Distribution à courants alternatifs simples, à 110 volts, à la fréquence de 67 périodes par seconde.
Société anonyme du secteur de la Rive gauche	39, rue Serpente	1° Distribution à courants continus à 2 fils, à 110 volts.
—	—	2° Distribution à courants alternatifs (*en établissement*).

B. Les stations centrales.

Bien que l'objet de notre ouvrage ne soit pas de décrire les stations centrales à Paris, nous croyons utile

d'indiquer sommairement quelles sont les usines qui desservent les secteurs dont nous avons parlé.

Le secteur de la C[ie] *continentale Edison* est alimenté par les stations centrales Drouot, de l'avenue Trudaine et du Palais-Royal et par la sous-station d'accumulateurs de la rue Saint-Georges. Ces trois usines à courants continus et à trois fils (3110 volts), d'une puissance totale de 2400 kw, sont montées en quantité pour le grand service de la soirée. Les accumulateurs de la sous-station sont chargés pendant la journée.

Le secteur de la *Société anonyme d'éclairage électrique du secteur de la place Clichy* est desservi par l'usine de la rue des Dames, d'une puissance totale de 2050 kw (dynamos) et 400 kw (accumulateurs). Cette station emploie des dynamos Siemens à collecteur extérieur, à 440 volts.

Le secteur de la *Société d'éclairage et de force par l'électricité* est desservi par cinq usines établies dans l'intérieur de Paris (station de Bondy, station des Filles-Dieu, station de la gare du Nord, station Barbès, et station de la Villette), et par une usine à Saint-Ouen qui fournit l'énergie électrique à des transformateurs à courants continus répartis dans les usines de la gare du Nord et du boulevard Barbès. La puissance totale des usines est environ de 2100 kw.

Le secteur de la *Compagnie parisienne de l'Air comprimé* est desservi par des usines à haute tension (Saint-Fargeau, boulevard Richard-Lenoir) et des stations secondaires autrefois assez nombreuses, mais que l'on réduit maintenant et que l'on transforme pour la distribution à cinq fils. Quelques quartiers sont aussi desservis par des stations à basse tension (station de la Bourse

du commerce, station de la rue des Jeûneurs, station du Retiro). La puissance totale est environ de 2800 kw.

Le secteur des Champs-Elysées est desservi par une usine établie en dehors de Paris, à Levallois-Perret, quai Michelet, sur les bords de la Seine. La puissance totale actuelle est de 1200 kw.

Le réseau du Service municipal est alimenté par l'usine installée dans les sous-sols du pavillon n° 3 des Halles centrales, et dont la puissance est de 240 kw (courants continus) et 330 kw (courants alternatifs).

Le secteur de la Rive gauche n'est desservi actuellement que par une petite station centrale, d'une puissance de 100 kw, installée place Sainte-Geneviève. On prépare les projets de distribution par courants alternatifs.

TABLE D'ENSEMBLE DE L'OUVRAGE

TABLE ANALYTIQUE

CHAPITRE II

DONNÉES GÉNÉRALES SUR LES MOTEURS ÉLECTRIQUES ET LEUR FONCTIONNEMENT

PROGRAMME GÉNÉRAL

CHAPITRE III

APPLICATIONS MÉCANIQUES DIVERSES DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

GÉNÉRALITÉS

DIVISIONS GÉNÉRALES

CHAPITRE IV

DÉPENSES POUR APPAREILS ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DANS LES APPLICATIONS DIVERSES

CHAPITRE V

LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE A PARIS

BIBLIOGRAPHIE

SOURCES CONSULTÉES

Traité élémentaire de l'Energie électrique, par E. HOSPITALIER, 1890.

Leçons sur l'Electricité professées à l'Institut électrotechnique Montefiore. par ERIC GÉRARD, 1893.

Traité pratique d'Electricité industrielle, par E. CADIAT et DUBOST, 1889.

Guide pratique d'Electricité industrielle. Eclairage et transmissions électriques, par GEORGES DUMONT et GUSTAVE BAIGNÈRES, 1894.

Les Moteurs électriques à courant continu, par H. LEBLOND, 1894.

Premiers principes d'Electricité industrielle, par PAUL JANET, 1893.

Traité théorique et pratique des Courants alternatifs, par F. LOPPÉ et R. BOUQUET, 1894.

Théorie élémentaire des Courants alternatifs, par J. VOYER, 1894.

Polyphased Alternating Currents, by E. HOSPITALIER, 1893.

Continous-current Dynamos and Motors, by FRANK P. COX, 1893.

Elektrische Beleuchtung und Kraftübertragung. Hilfsbuch zur Anfertigung von Projekten und Kostenanschlagen. Publié par l'ALLGEMEINE ELEKTRICITÆTS-GESELLSCHAFT. Berlin, 1894.

Elektrische Kraftübertragung und Kraftverteilung. Publié par l'Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft. Berlin, 1894.

Elektrische Beleuchtung und Kraftübertragung. Publié par MM. Siemens et Halske. Berlin, 1894.

Die Verwendung der Elektromotoren für gewerbliche Zwecke. Publié par l'Elektricitæts Aktiengesellschaft, ci-devant Schuckert et Cie. Nürnberg, 1894.

Collection du Journal *L'Industrie Electrique*, 1892, 1893 et 1894.

Collection du Journal *La Nature*, 1889-1894.

Collection du Journal *La Lumière Electrique*, 1893, 1894.

Collection du Journal *L'Eclairage Electrique*, 1894.

Collection du Journal *L'Electricien*, 1893, 1894.

Bulletin de la Société internationale des Electriciens, 1893, 1894.

Collection du Journal *Sciences et Commerce. Revue pratique de l'Electricité*, 1893, 1894.

Collection du Journal anglais *The Electrical Review*, 1892, 1893, 1894.

Collection du Journal anglais *Engineering*, 1893, 1894.

Collection du Journal américain *The Electrical Engineer*, 1893, 1894.

Collection du Journal américain *Electrical World*, 1893, 1894.

Elektrotechnische Zeitschrift, 1892, 1893, 1894.

Zeitschrift für Elektrotechnik, 1892, 1893, 1894.

Elektrotechnische Rundschau, 1894.

ADRESSES RELATIVES AUX APPAREILS DÉCRITS

Dans bien des cas nous avons remarqué que les lecteurs désirent acquérir quelques-uns des appareils décrits, ou essayer une application mentionnée ; pour leur éviter des recherches, nous avons indiqué succinctement les adresses des principaux constructeurs dont il a été question dans l'ouvrage de M. J. Laffargue.

L'Editeur.

Moteurs électriques à courants continus.

Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft, 22, Schiffbauerdamme, à Berlin N. W.
Bauer et Betz, 36, Neue Friedrich-Strasse, à Berlin.
Breguet (Maison), 19, rue Didot, à Paris.
Cadiot et Cie, 44, rue Taibout, à Paris.
Cail (Société des anciens établissements), 15, quai de Grenelle, à Paris.
C. et C. Electric Motor Co, 402, Greenwich Street, New-York.
Commercial Electric Co, 113, South Tennesse Street, Indianopolis (Etats-Unis).
Crompton et Co, 4, Queen Victoria Street, Londres, E. C.
Cuttriss, Wallis and Co, à Leeds (Etats-Unis).
Daniel Sack, Hubert et Co, 55, rue Legendre, à Paris.
Electro-mécanique (Cie), 11, avenue Trudaine, à Paris.
Elektricitæts Aktiengesellschaft, ci-devant Schuckert et Co, à Nuremberg (Allemagne).
Fives-Lille (Cie de), 64, rue Caumartin, à Paris.

Fort Wayne Electric Corporation, 115, Broadway, New-York City.

Garbe, Lahmeyer et Cie, à Aix-la-Chapelle.

Gramme (Société), 52, rue Saint-Georges, à Paris.

Hartmann et Braun, à Bockenheim-Frankfort. Représentant à Paris : M. Ch. Heller, 18, cité Trévise.

Henrion (Fabius), à Nancy.

Hillairet et Huguet, 22, rue Vicq-d'Azir, à Paris.

Holtzer-Cabot Electric C^o^, 92, Franklin Street, Boston, Mass.

Immisch et Co, The General Electric Power C^o^, Malden Crescent, Kentish Town, New-York.

Jenney Electric Motor C^o^, 224, South Illinois Street, Indianopolis (Etats-Unis).

L'Eclairage électrique (Société), 15, place Vendôme, à Paris.

L'Industrie Electrique (Cie de), à Ivry (Seine).

Oerlikon (Société des Ateliers d'). MM. Guitton et Bertolus, à Saint-Etienne.

Postel-Vinay (Maison), constructeur de la Cie française pour l'Exploitation des procédés Thomson-Houston, 38, rue Vaneau, à Paris.

Sautter, Harlé et Cie, 26, avenue de Suffren, à Paris.

Schneider et Cie, au Creusot. Moteurs Ganz. Concessionnaires exclusifs : Lombard-Gerin et Cie, 27, rue de la Chaussée-d'Antin, à Paris.

Scott (Ernest) et Mountain, à Newcastle-on-Tyne (Angleterre).

Siemens et Halske, 94, Markgrafenstrasse, à Berlin.

Sprague Motor C^o^, 18, Broad Street, New-York.

Standard Dynamos and Electric Motors. Belknap Motor C^o^, 476, Fore Street, à Portland (Etats-Unis).

Ullmann (J)., 16, boulevard Saint-Denis, à Paris (Moteur Crocker-Wheeler).

Voigt et Haeffner, appareillage pour moteurs électriques, à Bockenheim-Francfort.

Westinghouse Electric and Manufacturing C^o^, à Pittsburg, Pensylvania (Etats-Unis).

Moteurs électriques alternatifs.

Electro-mécanique (Cie), à Paris (adresse donnée plus haut).
Oerlikon (Société des Ateliers d'), à Oerlikon (Suisse). MM. Guitton et Bertolus, en France.

Moteurs électriques à courants polyphasés.

Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft.
Electro-mécanique (Cie), à Paris.
Fives-Lille (Cie de), à Paris.
L'Eclairage Electrique (Société), à Paris (moteurs Labour).
Oerlikon (Société des Ateliers d').
Schneider et Cie, au Creusot (moteurs Tesla).
} dont les adresses sont données plus haut.

Stanley Electric Manufacturing C^{o}, à Pittsfield, Mass. (Etats-Unis).

Machines-outils électriques.

Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft, *Elektricitæts Aktiengesellschaft*, Ganz et Cie, Garbe, Lahmeyer et Cie, Hillairet, *L'Eclairage Electrique* (Société), Sautter-Harlé, Siemens et Halske, Ullmann, etc. (adresses déjà données).
Card Electric Motor and Dynamo C^{o}, à Cincinnati (Etats-Unis).
Collet et Engellbach, à Offenbach (Allemagne).

Ascenseurs électriques.

Allgemeine Elektricitæts-Gesellschaft (déjà citée).
Edoux, 72, rue Lecourbe, à Paris.
Gearless et Co, à Cincinnati O. (Etats-Unis).
Keystone Electric C^{o}, à Erie (P^{a}) (Etats-Unis).
Morse, Williams et Co, 108, Liberty Street, à New-York City.

Otis (Cie américaine), 25, rue de la Paix, à Paris.

Roux et Combaluzier (Société *L'Eclairage Electrique*), 24, rue Matignon, à Paris.

Monte-charges électriques.

A. E. G., Breguet (Maison), Elektricitæts Aktiengesellschaft, Garbe, Lahmeyer et Cie, General Electric Co, Hillairet, J. Julien et Cie, 182, boulevard de la Villette, à Paris, Oerlikon (Ateliers d'), Sautter et Harlé, (déjà cités).

Ventilateurs électriques.

En général tous les fabricants de moteurs électriques, les constructeurs de ventilateurs ordinaires, et les marchands d'appareillage.

Treuils, grues et cabestans électriques.

Crompton et Cie, à Londres.

Gramme, à Paris. Guyenet, 83, boulevard Magenta, à Paris.

Hillairet et Huguet, à Paris.

Humpidge et Snoxell, à Dudbrige (Angleterre).

L'Eclairage électrique.

L. Neu, 5, place du Temple, à Lille.

Sautter et Harlé, à Paris.

Scott et Mountain, à Newcastle-on-Tyne (Angleterre).

Pompes électriques.

Pompes Dumont et autres pompes avec moteurs divers (Breguet, Gramme, Hillairet, Rechniewski, Sautter et Harlé, etc.) 55, rue Sedaine, à Paris.

Allgemeine Elecktricitæts-Gesellschaft.

Carl et Cie, à Worms (Allemagne),

Electric Pumping Plant, by the United Electrical Engineering Company, à Londres.
Elektricitæts Aktiengesellschaft, Siemens et Halske.

Ponts roulants électriques.

A. E. G., Bon et Lustrement, 25, rue du Faubourg Poissonnière, à Paris, Crompton et Cie, Cie Électro-mécanique (Société des établissements Weyher et Richemond), Cie de Fives-Lille, E. A. G, Julien et Cie, Mégy, Echeverria et Bazan, 30, rue des Cloys, à Paris, Schneider et Cie, Siemens et Halske, Thomas Broadbent and Sons, à Hudderfield (Angleterre).

Machines diverses.

Machines à coudre. — Tous les fabricants de moteurs adaptent la commande électrique sur les machines à coudre.
Machines à glace : Allgemeine E.-Gesellschaft.
Timbreur électrique : Cadiot et Cie, à Paris.
Hache-paille : Crompton et Cie, à Londres.
Machines à frotter le parquet, à cirer : ces machines sont de fabrication américaine.
Horloges électriques à brancher sur distributions d'énergie électrique : Allgemeine E.-G.

ERRATA

Page 7 ligne 17, *au lieu de* : qui prennent, *il faut* : qui prenaient.
— 8 — 10 — projet de force motrice, *il faut* : projet de distribution de force motrice.
— 13 — 32 — Ce serait, *il faut* : Ce seraient.
— 19 — 17 — 0 fr. 30 — 0,30 fr.
— 20 — 30 — 0,10 le m³ — 0,10 fr. le m³
— 21 — 20 — Malandrin — Malandin.
— — — 29 — 0,65 le kg — 0,65 fr. le kg.
— 23 — 8 — le même avec du coke, *il faut* : le même qu'avec du coke.
— — — 20 — 0 fr. 45 le cheval-heure, *il faut:* 0,45 fr. le cheval-heure.
— 29 — 32 — la durée des journées, *il faut* : le nombre des journées.
— 32 — 15 — a remplacé, *il faut* : a supprimé.
— 69 — 12 — $\eta_e \ \frac{P_u}{P_t}$ *il faut* : $\eta_e = \frac{P_u}{P_t}$
— 103 légende de la fig. 93, *au lieu de* : machine Siemens A et moteur B, *il faut* : machine Siemens I et moteur II.
— 177 ligne 2, la fig. 170 *bis* dont il est question se trouve p. 173.
— 209 — 6, *au lieu de* : moteurs diphasés, *il faut* : les moteurs diphasés.



